**AUDC**

**中华人民共和国国家标准**

**PGB**

**核电站钢板混凝土结构技术规范**

Technical specifications for steel plate concrete structures for nuclear power plants

**征求意见稿**

**xxxx-xx-xx发布xxxx-xx-xx实施**

|  |  |
| --- | --- |
| 中华人民共和国住房和城乡建设部 | 联合发布 |
| 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 |

**前 言**

本规范是根据住房和城乡建设部《关于印发（2014年工程建设标准规范制订、编制计划）的通知》建标【2013】169号文件的要求，由中冶建筑研究总院有限公司、中核工业第二二建设有限公司会同有关单位共同编制了《核电站钢板混凝土结构技术规范》。

在编制的过程中，编制组开展了专题研究、试验研究和广泛的调查研究，总结了我国钢板混凝土结构研究、设计、施工及检测工作中的经验，参考了国内外相关规范及相关研究的成果，并在全国范围内广泛征求了有关设计、科研、施工等单位的意见，经反复讨论、修改、充实，最后经审查定稿。

本规范共6章25节和7个附录，其主要内容包括：总则、术语和符号、基本设计规定、结构设计、施工及验收、附录。

本规范由中国核工业建设集团公司负责管理，由中冶建筑研究总院有限公司负责具体技术内容的解释，为提高规范的质量，请各单位在执行本规范过程中，结合工程实践，认真总结经验，积累资料，并将意见和建议寄至中冶建筑研究总院有限公司国家标准《核电站钢板混凝土结构技术规范》编制组（地址：北京市海淀区西土城路33号，邮编：100088，E-mail：[suesue.wu@126.com](mailto:jypeng805@sohu.com)），以便今后修订时参考。

本规范第一起草单位：中冶建筑研究总院有限公司

中核工业第二二建设有限公司

本规范参编单位：环境保护部核与辐射安全中心

国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心

中核能源科技有限公司

中广核工程有限公司

上海核工程研究设计院

中国核电工程有限公司

天津大学

北京航空航天大学

清华大学

上海交通大学

中核华兴建设有限公司

中核工业第二四建设有限公司

HALFEN(北京）建筑配件销售有限公司

本规范主要起草人：

本规范主要审查人：

目 次

1 总则 1

2 术语和符号 2

2.1 术语 2

2.2 符号 3

3 基本设计规定 6

3.1 一般规定 6

3.2 结构构件 12

3.3 材料 14

3.4 抗震设计基本原则 16

3.5 结构分析 17

4 结构设计 21

4.1 基本原则 21

4.2 构造要求 24

4.3 构件设计 27

4.4 楼板设计 36

4.5 连接处设计 43

5 施工 46

5.1 一般规定 46

5.2 钢结构模块的制作组装 46

5.3 钢结构构件的运输与吊装 50

5.4 钢结构构件的安装 52

5.5 钢筋施工 52

5.6 预埋件施工 53

5.7 混凝土施工 54

6 验收 55

6.1 一般规定 55

6.2 原材料 55

6.3 钢材加工工程 55

6.4 钢构件拼接、安装工程 56

6.5 混凝土分项工程 60

6.6 预埋件分项工程 60

附录A典型钢板混凝土模块 62

附录B钢板混凝土模块典型连接节点 64

附录C平面外抗剪强度的拉压杆模型 66

附录D 钢板混凝土子分部工程质量验收记录 67

附录E检验批质量验收记录 71

附录F分项工程质量验收记录 72

附录G球形埋置式超声波探头 73

条文说明 75

Contents

[1 General provisions 1](#_Toc472439114)

[2 Terms and symbols 2](#_Toc472439115)

[2.1 Terms 2](#_Toc472439116)

[2.2 Symbols 3](#_Toc472439117)

[3 Basic design requirements 6](#_Toc472439118)

[3.1 General requirements 6](#_Toc472439119)

[3.2 Structural members 12](#_Toc472439120)

[3.3 Materials 13](#_Toc472439121)

[3.4 Basic principles of seismic design 16](#_Toc472439122)

[3.5 Structural analysis 17](#_Toc472439123)

[4 Structural design 20](#_Toc472439124)

[4.1 Basic principles 20](#_Toc472439125)

[4.2 Detailing requirements 23](#_Toc472439126)

[4.3 Design of structures members 26](#_Toc472439127)

[4.4 Design of slabs 35](#_Toc472439128)

[4.5 Design of connections 42](#_Toc472439129)

[5 Construction 45](#_Toc472439130)

[5.1 General requirements 45](#_Toc472439131)

[5.2 Manufacture and assembly of steel structural modules 45](#_Toc472439132)

[5.3 Transport and hoisting of steel structural members 49](#_Toc472439133)

[5.4 Installation of steel structural members 51](#_Toc472439134)

[5.5 Reinforcement 51](#_Toc472439135)

[5.6 Embedded parts 52](#_Toc472439136)

[5.7 Concrete 53](#_Toc472439137)

[6 Acceptance check 54](#_Toc472439138)

[6.1 General requirements 54](#_Toc472439139)

[6.2 Materials 54](#_Toc472439140)

[6.3 Reinforcement fabrication 54](#_Toc472439141)

[6.4 Assembly and installation of steel structural members 55](#_Toc472439142)

[6.5 Concrete 59](#_Toc472439143)

[6.6 Embedded parts 59](#_Toc472439144)

[Appendix A Typical steel plate concrete modules 61](#_Toc472439145)

[Appendix B Typical connection of steel plate concrete modules 63](#_Toc472439146)

[Appendix C strut-and-tie model for out-of-plane shear strength 65](#_Toc472439147)

[Appendix D Concrete quality acceptance check records 66](#_Toc472439148)

[Appendix E Inspection lot quality acceptance check records 70](#_Toc472439149)

[Appendix F Subdivisional work quality acceptance check records 71](#_Toc472439150)

[Appendix G Spherical embedded ultrasonic probe 72](#_Toc472439151)

[Addition: Explanation of provisions 74](#_Toc472439152)

# 总则

**1.0.1** 为了适应新型核电站模块化设计和施工的要求，在核电站建构筑物中合理应用钢板混凝土结构，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于核电站钢板混凝土结构和构件的设计、施工、检验和验收。

**1.0.3** 应综合考虑核电站结构构件的受力特点、使用环境、工艺要求以及施工条件等因素，合理采用钢板混凝土结构。

**1.0.4** 核电站钢板混凝土结构的设计、施工、检验和验收，除应符合本规范外，尚应符合国家现行核安全法规、导则及国家其他相关标准的规定。

# 术语和符号

## 术语

钢板混凝土结构steel plate concrete structures

表面为钢板内部浇筑混凝土，通过栓钉等连接件将钢板与混凝土组合成整体的结构形式。

【条文说明】核电站钢板混凝土结构主要包括钢板混凝土剪力墙和单钢板混凝土楼板。一般先进行模块制作与组装，整体拼装就位后浇筑混凝土，故需采用模块化方法进行设计和施工。

在核电站建设中采用先进的模块化设计理念,其最大优点是可以通过减少在现场的施工量而缩短核电的建设工期,同时,采用模块化施工后,大量的施工工作在制造厂完成,可以更好地保证施工质量。

单钢板混凝土结构single side steel plate concrete structures

单侧采用钢板、另一侧配置普通钢筋，两者通过栓钉及其他连接件组合为整体的结构形式。

栓钉stud

与钢板连接的圆柱头焊钉，保证钢板和混凝土的协同工作。

加劲肋stiffener

与钢板连接的加劲型钢构件。

【条文说明】加劲肋可提高钢板的刚度，保证钢板和混凝土的协同工作。

对拉体系connecting systems

由对拉钢筋或采用加劲肋、型钢、对拉钢板条组成的桁架体系等，连接钢板混凝土结构的两侧钢板或钢板上加劲肋的钢构件。

【条文说明】对拉体系主要作用为防止钢板屈曲，提供钢板混凝土构件平面外抗剪强度，同时在施工期间提供临时支撑作用。

对拉抗剪构件connecting shear components

由对拉钢筋或采用加劲肋、型钢、对拉钢板条组成为防止钢板屈曲，提供钢板混凝土构件平面外抗剪强度的构件。

自密实混凝土self-consolidating concrete

具有高流动度、不离析、均匀性和稳定性，浇筑时依靠其自重流动，无需振捣而达到密实的混凝土。

钢结构模块steel structural module

钢板混凝土结构中由钢板、栓钉、加劲肋和对拉体系等组成的钢结构拼装组合件。

【条文说明】钢结构模块可在工厂加工制作，运输至现场组装后，吊装就位后再浇筑混凝土，最终形成钢板混凝土结构。

## 符号

材料性能

——钢板抗拉、抗压强度设计值；

——对拉抗剪构件（拉结钢筋）的抗拉强度设计值；

——钢筋抗拉强度设计值；

——钢筋抗压强度设计值；

——混凝土轴心抗压强度设计值；

——混凝土轴心抗拉强度设计值；

——混凝土弹性模量；

——钢板弹性模量；

——钢筋弹性模量；

——钢板与混凝土的弹性模量比；

——栓钉屈服强度设计值；

——栓钉极限抗拉强度设计值。

作用效应和抗力

——单位宽度钢板混凝土剪力墙平面内剪力设计值；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙与x坐标平行的轴向力设计值；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙与y坐标平行的轴向力设计值；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙最大平面主内力、最小平面主内力设计值；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙截面平面内抗拉承载力设计值；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙平面内轴心抗压承载力设计值；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙平面外抗弯承载力设计值；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙平面内纯剪承载力设计值；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙单向轴力作用下的抗剪承载力设计值；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙平面外抗剪承载力设计值；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙平面内抗剪承载力设计值；

——单个栓钉的拉力设计值；

——单个栓钉的抗拉承载力；

——单个栓钉的剪力设计值；

——单个栓钉的抗剪承载力；

——宽度为栓钉间距的钢板强度设计值；

——单位宽度钢板抗拉承载力，取为；

——截面平面外剪力。

几何参数

——钢板混凝土结构构件厚度；

——钢板混凝土结构构件单侧钢板厚度；

——钢板混凝土结构构件截面混凝土厚度；

——钢板混凝土剪力墙两侧钢板形心间距离；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙双侧钢板截面面积之和；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙双侧钢板净截面面积之和；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙单侧钢板净截面面积；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙抗拉侧钢板净截面面积；

——受压区纵向钢筋截面面积；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙混凝土截面面积；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙的截面对剪力墙形心的有效惯性矩；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙两侧钢板的截面惯性矩；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙混凝土截面惯性矩；

——墙体计算高度；

——栓钉截面面积；

——栓钉间距；

——栓钉水平方向的间距；

——栓钉竖直方向的间距；

——栓钉长度；

——宽度为栓钉间距的钢板截面面积。

计算系数及其他

——连接件拉力系数；

——钢板达到屈服极限所需的栓钉数量；

——传递长度；

——剪跨比；

——钢板与混凝土强度比参数；

——约束边缘构件的承载力的参与系数；

——混凝土内摩擦角。

# 基本设计规定

## 一般规定

钢板混凝土结构设计应包括下列内容：

**1**结构方案设计，包括结构选型、结构布置及传力途径；

**2**作用及作用效应分析；

**3**结构的极限状态设计；

**4**结构及构件的构造、连接措施；

**5**运输、吊装施工阶段的验算，包括承载力、变形和稳定性；

**6**耐久性及施工要求；

本规范采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以可靠指标度量结构构件的可靠度，采用分项系数的设计表达式进行设计。

【条文说明】从安全水平的角度看，本规范编制中通过采用安全系数法和中心点法从不同的角度评价中美规范可靠度，均获得了相似的结论：

1. 对于轴心受拉、轴心受压、面外抗弯、面内抗剪的受力状态，中国规范荷载组合1.2G+1.6Q 的可靠指标与美国荷载组合1.2G+1.6Q 的结果相近；
2. 对于面外抗剪，中国规范的可靠指标略低于美国规范，但此结论尚需进一步讨论。原因在于中国规范的面外抗剪公式采用混凝土抗拉强度ft，而美国规范采用混凝土抗压强度'fc来换算混凝土抗拉强度。从概率统计角度而言，ft与fc 的变异系数δ和统计参数k 显著不同。而在本计算中将两者取为相同，导致抗力R的统计参数相差较大，故导致可靠指标出现差异。

钢板混凝土结构的极限状态设计包括承载能力极限状态设计和正常使用极限状态设计。

**1**钢板混凝土结构构件承载能力极限状态包括—结构或结构构件达到最大承载力，发生不适用于继续承载的变形或因结构和构件丧失稳定，结构转变为机动体系和结构倾覆。预制钢结构模块尚应按制作、运输及安装的荷载设计值进行施工阶段的验算。

**2**钢板混凝土结构构件正常使用极限状态包括—结构或结构构件达到正常使用的某项规定限值或耐久性能的某种规定状态。对使用上需控制变形的结构构件应进行变形验算。

结构构件应根据承载能力极限状态的要求进行承载力计算，结构构件的承载力设计采用下列极限状态设计表达式：

 （3.1.4-1）

（，，，） （3.1.4-2）

式中：——荷载组合作用效应（内力）设计值，按本规范第3.1.7条确定；

——结构构件的承载力设计值，按本规范第4章确定；

，，——混凝土、钢材、钢筋的强度设计值，按本规范第3.3节取值；

——几何参数的标准值。

注：内力设计值在本规范各章中用N（轴力）、M（弯矩）、Q（平面内剪力）、V（平面外剪力）等表达。

结构构件应根据正常使用极限状态的要求验算正常运行情况下的变形。结构构件的正常使用极限状态设计表达式:

 （3.1.5-3）

式中：——荷载组合作用效应（变形）标准值；按本规范第4章确定，荷载效应分项系数均取为1.0；

——结构构件的变形限值，按表3.1.5采用。

表3.1.5结构构件的变形限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类型 | 荷载组合 | 楼板 |
| 1 | 正常运行  正常运行加严重环境 | L/320 |
| 2 | 正常运行加极端环境  异常运行  异常运行加严重环境  异常运行加极端环境  正常运行加飞射物或外部人为事件 | L/200 |
| 备注 | 1、表中L为构件的计算跨度  2、工况组合参照《压水堆核电站核安全有关的混凝土结构设计要求》NB/T20105-2010工况及荷载效应组合中的分类  3、表中所列各种工况见3.1.10和3.1.11中的规定 | |

钢板混凝土结构剪力墙与钢筋混凝土结构剪力墙并用或者与其他结构形式组合使用时，应分别满足各自结构形式的相关规范规定。

核电站建构筑物应根据其执行功能的重要性,依据GB50267《核电厂抗震设计规范》进行抗震分类。

经抗震分类确定的核安全有关的建构筑物中的钢板混凝土结构应按本规范第3.4节规定的荷载和荷载效应组合进行设计。如存在符合特定厂址条件的其它任何荷载和作用，则设计时尚需考虑这类荷载和作用。其他钢板混凝土结构可按GB50009《建筑结构荷载规范》规定的荷载和荷载效应组合进行设计。

设计中必须考虑厂址环境因素对核安全有关结构的影响，须考虑的厂址环境因素主要有：

**1** 厂区地基及其附近地区斜坡的稳定性；

**2** 设计基准地震动参数、地基液化、海啸等；

**3** 洪水、暴雨、台风、龙卷风等自然现象；

**4** 极端环境温度；

**5** 自然环境对结构材料的影响，诸如空气中的含氯物和其它有害物质、侵蚀性地下水的腐蚀；

**6** 飞机坠毁、化学品爆炸等外部人为事件。

钢板混凝土结构设计应考虑下列荷载与作用：

**1** 正常荷载，核电站正常运行或停堆期间承受的荷载和作用可包括—（说明引用标准）

1) D——永久荷载，包括结构自重、液体静水压力以及固定设备荷载等；

2) L——活荷载，包括由可移动的设备荷载，土压力及其他可变荷载（例如人员重量、建造荷载、吊车荷载等)；

3) T0——在正常运行或停堆期间的温度作用；

4) R0——在正常运行或停堆期间管道和设备的反力，不包括重力荷载和地震产生的反力。

**2** 异常荷载，异常荷载指设计基准事故引起的荷载和作用，可包括：

1) Pa——由设计基准事故引起的压力荷载；

2) Ta——由包括T0的设计基准事故引起的温度作用；

3) Ra——由包括R0的设计基准事故引起的管道和设备反力；

4) Rr——由设计基准事故引起的局部荷载，包括：

a) Rrr——在设计基准事故工况下由高能管道破裂而产生的反力；

b) Rrj——在设汁基准事故工况下由高能管道破裂而产生的喷射冲击荷载；

c) Rrm——在设计基准事故工况下由高能管道破裂而产生的撞击荷载。

**3** 严重环境荷载，严重环境荷载指电厂寿期内偶尔遇到的环境荷载和作用，包括：

1) W——厂址的基本风压荷载，按100年一遇的10s平均最大风速确定；

2) E1——运行安全地震动产生的地震作用，包括由运行安全地震动引起的管道和设备的地震作用。计算地震作用时仅考虑永久荷载和实有的活荷载。

**4** 极端环境荷载，极端环境荷载指可能但极少可能发生的环境荷载和作用，包括：

1) Wt——龙卷风荷载，包括：

a) Wtg——龙卷风风压荷载；

b) Wtp——大气压迅速变化引起的压差荷载；

c) Wtm——龙卷风引起的飞射物撞击所产生的效应。

2) E2——极限安全地震动产生的地震作用，包括由极限安全地震动引起的管道和设备的地震作用(计算地震作用时所考虑的荷载同E1)。

**5** 内部飞射物和外部人为事件引起的荷载，包括:

1）A1——内部飞射物所产生的撞击荷载，例如由乏燃料容器路落而引起的荷载及控制棒或阀门部件等飞出而引起的荷载:

2）A2——外部爆炸引起的冲击波荷载:

3）A3——外部飞射物引起的荷载，例如出飞机坠毁、汽轮机部件飞出而引起的荷载:

4）C——由环形吊车梁支撑牛腿的高差引起的荷载，考虑最大相对高差为50mm；

5）F——由环形吊车轴线最近的一个支承牛腿的承载力丧失引起的荷载。

**6** 钢结构模块制作、运输及安装应考虑相应的动力系数。

【条文说明】

钢结构模块制作、运输及安装应考虑相应的动力系数，在有充分依据时，可将模块的自重乘以动力系数后，按静力计算设计。搬运和装卸模块以及车辆起动和刹车的动力系数，可采用1.1～1.3。

**7** 对现浇装配式结构，应考虑施工阶段的荷载。

【条文说明】

在进行混凝土浇筑前，对钢结构构件模板进行抗压计算，控制在混凝土浇筑时钢模板产生变形。

核安全有关的混凝土结构应按下列各种工况的荷载效应组合进行承载力计算:

**1** 正常运行：

**1**）Sn1=1.4D+1.7L+1.7R0

**2**）Sn2=1.05D+1L+1.05T0+1R0

**2** 正常运行加严重环境：

**1**）Sns1=1.4D+1.7L+1.7E1+1.7RO

**2**）Sns2=1.4D+1.7L+1.7W+1.7RO

**3**）Sns3=1.05D+1L+1E1+1.05T0+lRO

**4**）Sns4=1.05D+1L+1W+1.05T0+1R0

**3** 正常运行加极端环境：

**1**）Sne1=D+L+T0+R0+E2

**2**）Sne2=D+L+T0+R0+Wt

**4** 异常运行：

**1）**Sa=D+L+Ta+Ra+1.25Pa

**5** 异常运行加严重环境：

**1**）Sas=D+L+Ta+Ra+1.15Pa+Rr+1.15E1

**6** 异常运行加极端环境：

**1**）Sae=D+L+Ta+Ra+Pa+Rr+E2

**7** 正常运行加内部飞射物或外部人为事件：

**1**）Snf1=D+L+T0+R0+A1

**2**）Snf2=D+L+T0+R0+A2

**3**）Snf3=D+L+T0+R0+A3

注1:以上各式中的符号代表与之相对应的荷载的荷载效应标准值。

注2:本条所列的各种荷载效应组合中任意一种荷载足以减小其他荷载的效应时，如该荷载经常出现或与其他荷载肯定同时发生，则此项荷载效应的荷载分项系数应取为0.9，否则为零，即不参与组合。

注3:组合时Pa、Ta、Ra、Rr应取最大效应值，除非经时程分析确认可取较低的值。

注4:本条所列的各种荷载效应组合值即为荷载效应组合设计值。

注5:如判定其他极端环境荷载（如极端洪水）对核安全结构有影响，则应考虑附加的荷载效应组合，用该项极端环境荷载代替组合3中的Wt。

钢板混凝土结构的设计使用年限应按现行核安全法规的要求，根据核电机组的设计寿期确定。

【条文说明】核电站的设计寿期是指核电站在设计参数下能保证安全、经济、运行的最小预计运行小时数。我国目前已建和在建的M310等二代改进型压水堆机组设计寿期为40年；在建AP1000、EPR、华龙一号等三代先进压水堆核电机组，设计寿期为60年。土建结构的设计使用年限在考虑核电机组的设计寿期基础上，还应考虑核电机组的建设周期一般为5年。

结构耐久性设计可依据《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T50476、《钢结构设计规范》GB50017的相关要求实施。腐蚀性介质中的钢板混凝土结构耐久性设计可依据《工业建筑防腐蚀设计规范》GB50046的相关要求实施。

防火设计可按照《建筑设计防火规范》GB50016、《高层民用建筑设计防火规范》GB50045及《石油化工企业设计防火规范》GB50160、《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99等的有关规定进行，也可根据具体的试验结果确定耐火极限。

【条文说明】关于钢板混凝土结构的耐火性能,国际、国内均进行过相关实验研究。国内实验表明，单面受火试件根据隔热性能判定的耐火极限均超过xx小时，钢板混凝土结构剪力墙的隔热性能良好。单面受火试件在最长达xx小时的整个受火过程中未出现火焰和热气穿透墙体的情况，背火面始终保持较低温度，钢板混凝土结构剪力墙的火焰屏蔽性能良好。试验表明—在整体受火条件下，试件根据承载能力判定的耐火极限均超过2.5小时；在单面受火条件下，试件失去隔热性时仍能保持稳定的承载能力，可推断其根据承载能力判定的耐火极限超过小时。钢板混凝土结构剪力墙高温下的承载能力可以得到保证。因此根据试验得出的耐火性能表现，按本规范设计的钢板混凝土结构剪力墙不需要专门设置防火涂层。试验中墙身高厚比例较大的钢板混凝土结构剪力墙在竖向荷载和高温耦合作用下发生面外失稳，因此设计时应进行耦合受力分析并采取可靠措施保证其在高温下的整体稳定性。试验表明采用“栓钉+拉杆”构造的钢板混凝土结构剪力墙，其高温下的轴向刚度大于采用“栓钉+内隔板”构造的钢板混凝土结构剪力墙，建议优先采用。

## 结构构件

核电站钢板混凝土剪力墙可为双侧钢板混凝土剪力墙，其对拉体系可分为：

**1**拉筋型，如图3.2.1（a）所示；

**2**钢桁架型，如图3.2.1（b）所示；

**3**隔板型，如图3.2.1（c）所示。

|  |  |
| --- | --- |
| 3  1  2  4 | 3  1  2  5  4 |
| （a）拉筋型  1—栓钉2—外部钢板3—混凝土4—拉筋 | （b）钢桁架型  1—栓钉2—外部钢板3—混凝土4—对拉型钢5—加劲肋 |
| 3  2  1  4 | |
| （c）隔板型  1—栓钉2—外部钢板3—混凝土4—垂直舱壁 | |

图3.2.1钢板混凝土结构剪力墙的截面构造

【条文说明】

1、“拉筋型”钢板混凝土结构，钢板与钢板之间通过拉筋连接，在钢板内表面布置栓钉，钢板内部现浇混凝土使钢板与混凝土形成整体共同承受荷载；

2、“钢桁架型”钢板混凝土结构，钢板与钢板之间通过由型钢或钢板条组成的钢桁架连接，在钢板内表面布置栓钉和加劲肋，钢板内部现浇混凝土使钢板与混凝土形成整体共同承受荷载；

3、“隔板型”钢板混凝土结构，钢板与钢板之间通过隔板连接，在钢板内表面布置栓钉，钢板内部现浇混凝土使钢板与混凝土形成整体共同承受荷载。

钢板混凝土楼板可为单侧钢板混凝土组合楼板，包括：

**1**栓钉型单侧钢板混凝土组合楼板可由上部钢筋和下部带栓钉的钢板组成，如图.2（a）所示；

**2**栓钉加劲肋组合型单侧钢板混凝土组合楼板可由上部钢筋和下部布置加劲肋与栓钉的钢板组成，如图3.2.2（b）所示。

2

1



3

(a)栓钉型



2

1

3

4

(b)栓钉加劲肋组合型

图3.2.2单侧钢板混凝土组合板

1—栓钉2—上部钢筋3—下部钢板4—加劲肋

【条文说明】

1、在楼板底部钢板上布置栓钉，其上现浇混凝土使钢板与混凝土形成整体共同承受荷载，且混凝土上部配置适量钢筋；

2、在楼板底部钢板上布置栓钉及加劲肋，其上现浇混凝土使钢板与混凝土形成整体共同承受荷载，且混凝土上部配置适量钢筋。

## 材料

钢结构模块材料应根据其所处的工作环境确定。无特殊要求的区域宜选用Q235、Q345、Q390、Q420钢，其质量应符合《碳素结构钢》GB/T700和《低合金高强度结构钢》GB/T1591的规定，在低温工作环境下的钢材还应满足《钢结构设计规范》GB50017中不同温度下冲击韧性的要求。对于与腐蚀性介质接触的区域，宜采用双相不锈钢，可专门进行研究设计，且应符合相应有关标准的规定和要求。

钢板的选用和性能指标应符合以下要求：

**1**钢板的板材，Q235宜采用质量等级为B、C、D的碳素结构钢，Q345宜采用质量等级为B、C、D、E的低合金高强度结构钢，Q390、Q420宜采用质量等级为B、C、D、E的低合金高强度结构钢；但有可靠依据时，亦可采用其他钢种和钢号；

**2**钢板的板材应有良好的焊接性；

**3**在低温工作环境下的钢材还应满足《钢结构设计规范》GB50017中对不同温度下钢材冲击韧性的要求；

**4**钢材应具有屈服强度、抗拉强度、伸长率、冲击韧性和硫、磷含量的合格保证，对焊接结构尚应具有碳含量的合格保证及冷弯试验的合格保证；

**5**钢板厚度大于或等于40mm，且承受沿板厚方向拉力的焊接连接板件，钢板厚度方向截面收缩率，不应小于现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T5313中Z15级规定的容许值。

**6**钢材强度设计值应按《钢结构设计规范》GB50017的规定采用。

混凝土强度等级不宜低于C30，且不宜高于C60。

混凝土轴心抗压、轴心抗拉强度标准值；轴心抗压、轴心抗拉强度设计值应按《混凝土结构设计规范》GB50010的规定采用。

混凝土抗压和抗拉弹性模量Ec、混凝土的剪切变形模量Gc、混凝土泊松比、线膨胀系数、容重值应按《混凝土结构设计规范》GB50010的规定采用。

采用钢板混凝土结构构件的混凝土最大骨料直径不宜大于25mm。对浇筑难度较大或复杂节点部位，宜采用骨料更小，流动性更强的自密实混凝土，且应符合《自密实混凝土应用技术规程》JGJT283的相关规定。

混凝土温度允许偏差应符合下列限值：

**1**在正常运行工况或其它任何长期作用下的温度限值为65℃，但局部范围，如高能管道穿管区域，其允许温度可适当提高，但不宜大于95℃；

**2**在事故工况或其它任何短期作用下的温度限值为180℃，但由于管道破裂时的喷射作用所影响的局部区域，其允许温度可提高到345℃；

**3**如通过试验能确定混凝土强度的降低值，且降低后的强度大于设计值，则混凝土温度允许高于上述1、2款规定的限值。

型钢宜采用牌号Q345B、C、D、E级低合金高强度结构钢，及牌号Q235B、C、D级碳素结构钢，也可采用牌号Q390B、C、D、E级和Q420B、C、D、E级低合金高强度结构钢。

栓钉规格应符合现行国家标准《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T10433的有关规定。抗剪连接件宜优先采用圆柱形栓钉。

栓钉力学性能指标应符合表3.3.10的规定。

**表3.3.10栓钉力学性能指标**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 材料 | 极限抗拉强度(N/mm2) | 屈服强度(N/mm2) | 伸长率（%） |
| ML15、ML15Al | ≥400 | ≥320 | ≥14 |

钢筋应满足以下要求：

**1**普通钢筋宜采用延性、韧性和焊接性好的钢筋，且应符合国家标准《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》GB1499.1和《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》GB1499.2的规定；

**2**普通钢筋的强度等级，纵向受力钢筋宜选用HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500级的热轧带肋钢筋；对拉钢筋、箍筋宜选用符合抗震性能指标且不低于HRB400的热轧带肋钢筋，也可选用HPB300级的热轧光圆钢筋；钢筋的设计指标应按照《混凝土结构设计规范》GB50010中的规定采用；当有可靠依据时，也可选用HRB600热轧带肋钢筋。

**3**钢筋的检验方法应符合《混凝土结构施工质量验收规范》GB50204的有关规定。

焊接材料性能指标应符合《钢结构设计规范》GB50017的要求。

**1**手工焊接用焊条应符合现行国家标准《碳钢焊条》GB5117或《低合金钢焊条》GB5118的规定，选用的焊条型号应与结构材料相适应；

**2**自动焊接或半自动焊接采用的焊丝和焊剂，应保证其熔敷金属的力学性能不低于现行国家标准《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》GB/T5293和《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T12470中的相关规定。

焊缝质量等级应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205的规定，焊缝强度设计值应按《钢结构设计规范》GB50017的规定采用。

## 抗震设计基本原则

核电站钢板混凝土结构应按现行国家标准《核电厂抗震设计规范》GB50267进行抗震分类，依抗震分类实施抗震设计，结构的抗震设计应满足核电站的整体安全要求。

核电站钢板混凝土结构应遵照《核电厂抗震设计规范》GB50267进行抗震设计，当遭受相当于运行安全地震震动的地震影响时，应能正常运行；当遭受相当于极限安全地震震动的影响时，应能确保反应堆冷却剂压力边界完整、反应堆安全停堆并维持安全停堆状态，且放射性物质的外逸应不超过国家规定限值。

结构体系应满足以下基本要求：

**1**结构体系应根据构筑物的抗震分类、设计基准地震、场地条件、地基和施工等因素，经技术、经济和使用要求综合比较确定。

**2**结构体系应具有明确的计算简图和合理的地震作用传力途径。

抗震计算模型、抗震计算、地震作用、作用效应组合和截面抗震验算应遵照现行国家标准《核电厂抗震设计规范》GB50267的规定。

钢板混凝土结构在运行安全地震动（SL-1）下的阻尼比应取4%，极限安全地震震动（SL-2）下的阻尼比取值宜取5%，

【条文说明】

结构的振动耗能特性应采用适当的阻尼模拟。一般可用比例阻尼模拟结构耗能特性，比例阻尼可采用瑞利阻尼、刚度阻尼或质量阻尼。

当设置抗震缝时，抗震缝的宽度应按地震反应变形确定，应等于或大于抗震缝两侧物项地震变形之和的2倍，并应适当考虑施工偏差。伸缩缝和沉降缝的设计应满足抗震缝的要求。

钢板混凝土结构设计中，对可能出现的薄弱部位，应采取措施提高其抗震能力。应注重加强连接节点的构造措施，保证结构的整体抗震性能，使整体结构具有必要的承载能力、刚度和延性。

## 结构分析

结构分析应符合如下基本要求：

**1**钢板混凝土结构应进行整体作用分析，必要时尚应对结构中受力状况的特殊部位进行更详细的分析。

**2**当结构在施工和使用期的不同阶段有多种受力状况时，应分别进行结构分析，并确定其最不利的作用组合。

**3**结构分析应符合结构的实际工作状况和受力条件，结构分析的结果应有相应的构造措施加以保证。结构分析应符合力学平衡条件、在不同程度上符合变形协调条件和采用合理的材料本构关系。

当结构可能遭遇龙卷风、极端风、爆炸冲击波、飞射物、飞机撞击等外部事件作用时，结构分析除应按本规范规定进行外，尚应符合国家现行核安全法规及相关标准的要求。

【条文说明】核电站建构筑物结构进行整体作用分析时，应考虑正常荷载、异常荷载、严重环境荷载、极端环境荷载、内部飞射物及外部人为事件引起的荷载及荷载的组合效应。荷载的取值及作用效应组合的具体要求见《压水堆核电站核安全有关的混凝土结构设计要求》NB/T20012-2010节。

**4**结构分析时，应根据结构受力特点选择下列方法—

**1）**弹性分析方法；

**2）**弹塑性分析方法；

**3）**试验分析方法

【条文说明】

1、弹性分析方法是最基本和最成熟的结构分析方法，也是其他分析方法的基础和特例。它适用于分析结构的两种极限状态。结构内力的弹性分析和截面承载力的极限状态设计相结合，使用上简易可行。按此设计的结构，其承载力一般偏于安全。少数结构因混凝土开裂部分的刚度减小而发生内力重分布，可能影响其他部分的开裂和变形情况。核电站基于弹性设计。可采用混凝土弹性模量降低的方式考虑钢板混凝土结构因混凝土开裂导致的刚度减小，而各构件（截面）刚度不随荷载效应的大小而变化，而结构内力和变形仍可采用线弹性方法进行分析。

2、弹塑性分析方法以钢筋混凝土的实际力学性能为依据，引入相应的本构关系后，可准确地分析结构受力全过程的各种荷载效应，而且可以解决各种体形和受力复杂结构的分析问题。这是一种先进的分析方法，已经在国内外一些重要结构的设计中采用，并不同程度地纳入国外的一些主要设计规范。但这种分析方法比较复杂，计算工作量大，各种非线性本构关系尚不完善和统一，至今应用范围仍然有限，主要应用于核电站中复杂结构的分析和核电站结构在超设计基准地震作用或飞射物撞击作用下的结构分析。考虑到各种非线性本构关系和分析软件使用中存在不确定性，对于弹塑性分析的结果应进行合理性判断，可采用多种程序对结果进行校核，在确认其合理、有效后方可应用于工程设计。

3、结构或其部分的体型不规则和受力状态复杂，又无恰当的简化分析方法时，可采用试验分析的方法。例如钢板混凝土剪力墙大型空洞周围，钢板混凝土剪力墙与楼盖连接节点区域等。

**5**结构分析采用的计算软件应予以验证和确认，并充分考虑其不确定性。其技术条件应符合本规范和国家现行有关标准的要求。应对分析结果进行判断和校核，在确认其合理、有效后方可应用于工程设计。

【条文说明】

结构设计中采用计算机分析的商业和自编软件，都必须保证其运算的可靠性。每一项计算机软件分析的结果都应作必要的判断和校核。建议采用两种以上计算软件进行相互校核。

结构的弹性分析方法可用于正常使用极限状态和承载能力极限状态作用效应的分析。

**1**结构构件的刚度可按下列原则确定：

在进行结构弹性内力和位移计算时，钢板混凝土组合结构构件的截面抗弯刚度、轴向刚度和抗剪刚度可按下列公式计算：

 （3.5.2-1）

 （3.5.2-2）

 （3.5.2-3）

式中：

、、——构件截面抗弯刚度、轴向刚度、抗剪刚度；

、、——混凝土部分的截面抗弯刚度、轴向刚度、抗剪刚度；

、、——钢板部分的截面抗弯刚度、轴向刚度、抗剪刚度。

注 1：可不计入和计算方向垂直的钢板对截面抗剪刚度的贡献。

2：考虑混凝土徐变和收缩的影响时，可采用混凝土考虑长期影响的弹性模量取代混凝土弹性模量Ec。

3：截面惯性距可按均质的混凝土全截面计算。

【条文说明】

在进行弹性阶段的内力和位移计算中，除了需要钢板混凝土结构构件的换算弹性抗弯刚度外，在考虑构建的剪切变形、轴向变形时，还需要换算截面剪切刚度和轴向刚度。计算中采用了钢筋混凝土的截面刚度和钢板截面刚度叠加的方法。

**2**钢板混凝土结构中的钢结构模块应对运输、吊装及混凝土浇筑等阶段进行承载力、稳定及变形验算。

【条文说明】

由于施工阶段钢板混凝土结构的混凝土尚未达到其设计强度，因此，施工阶段应考虑液态混凝土的侧压力验算钢板的强度和变形。对于钢板混凝土结构模块化施工，应根据钢结构子模块设计中考虑的运输和吊装方式，充分考虑运输、吊装阶段的荷载工况，合理进行承载力、稳定及变形验算。

**3**稳定计算可采用直接分析法或现行《钢结构设计规范》GB50017的方法。直接分析法包括计算分析方法、试验方法或两种方法的组合；

**4**对温度作用进行线弹性应力计算时，可参照相关标准中的有关规定考虑因混凝土开裂、徐变等因素引起的温度效应的衰减。在事故工况下，应考虑混凝土温度作用产生的裂缝对计算结果的减小，一般可取0.35-0.6的折减系数。同时应考虑对钢筋和混凝土的强度和弹性模量的折减。允许采用弹塑性分析方法计算温度效应的折减值。

【条文说明】

在EPR土建设计准则ETC-C中，对于温度效应进行线弹性计算时，建议依据不同荷载工况考虑混凝土在温度作用下的开裂对温度产生的应力进行折减—

对于混凝土强度在30MPa~60MPa之间、抗弯钢筋配筋率为0.01的混凝土墙体，正常运行工况取0.6；异常工况取0.5；事故工况取0.35。也可考虑混凝土截面开裂，进行更为详细的计算。

对于特殊工况或受力复杂的结构区域，可采用弹塑性分析方法对结构总体或局部进行验算。结构的弹塑性分析宜符合下列原则—

**1**材料的性能指标及本构关系可按国家现行相关标准确定，当必要时也可通过试验分析确定；

**2**宜考虑几何非线性的不利影响；

**3**钢板混凝土结构的弹塑性分析，可根据实际情况采用静力或动力分析方法。墙、楼板等构件可简化为二维板或壳；

**4**复杂的结构、节点或局部区域需作精细分析时，宜采用三维实体单元；

**5**构件、截面或各种计算的受力-变形本构关系宜符合实际受力情况。某些变形较大的构件或节点进行局部精细分析时，宜考虑钢板与混凝土之间的滑移关系。

# 结构设计

## 基本原则

本规范适用于厚度不小于320mm且不大于1600mm的钢板混凝土结构剪力墙，以及最小厚度为150mm的楼板。

钢板的拼接宜采用完全熔融焊接，或其他等强连接方法。

开洞的要求—开洞的最大尺寸小于等于0.5倍墙体厚度时视作小开洞。小开洞的边界可采取自由边界或锚固边界两种形式，其中自由边界只能用于内部区域。小开洞应满足以下要求：

**1**自由边界小开洞

针对自由边界小开洞，在满足以下条件时，结构分析模型中可不考虑开洞，但开洞处所在的计算单元的相关强度折减25%：

**1**）非圆形或椭圆形开洞的凹角处弧度半径应大于4倍钢板厚度。

**2**）围绕开洞的第一排对连接件距开洞边界的距离应小于等于1/4倍截面厚度。

**2**锚固边界小开洞

针对锚固边界小开洞，在满足以下条件时，结构分析模型中可不考虑开洞：

**1**）非圆形或椭圆形开洞的凹角处弧度半径应大于4倍单钢板面板厚度。

**2**）开洞处配置贯穿钢袖套，袖套的强度与厚度应分别大于钢板的强度与厚度。

**3**）钢袖套通过连接件与混凝土连接，连接件应满足4.2节要求，在计算宽厚比时应使用钢袖套的厚度。

**4**）钢袖套两端应设置钢翼板，钢翼板与钢袖套通过接头完全熔透坡口焊接连接，钢翼板使用与钢板相同的材料，其强度应大于等于钢板强度。钢翼板厚度应大于等于钢板厚度，钢翼板应从开洞边界向开洞外延伸至少一倍截面厚度的距离。

**5**）如果钢翼板厚度小于1.25倍钢板厚度，钢板应同时通过接头完全熔透坡口焊接连接至钢袖套和通过最大尺寸角焊连接至钢翼板；如果钢翼板厚度大于等于1.25倍钢板厚度，钢板可只通过接头完全熔透坡口焊接与钢翼板外边界连接。

开洞的最大尺寸大于0.5倍墙体厚度时视作大开洞。大开洞的边界可采取自由边界或锚固边界两种形式，并满足以下要求：

**1**自由边界大开洞

**1**）结构分析模型中应考虑开洞，分析模型中的开洞尺寸应大于实际开洞尺寸，分析模型中的开洞边界应取到实际开洞边界向开洞外延伸1倍传递长度的位置。分析模型中开洞附近的计算单元强度可不折减。

**2**）非圆形或椭圆形开洞的凹角处弧度半径应大于4倍钢板厚度。

**3**）围绕开洞的第一排对连接件距开洞边界的距离应小于等于1/4倍截面厚度。

**2**锚固边界大开洞

结构分析模型中应考虑开洞，分析模型中使用实际的开洞尺寸，并应满足与锚固边界小开洞相同的构造要求。

【条文说明】

针对开洞的要求主要参考美国《ANSI/AISCN690s1核安全相关钢结构技术规程》中“附录N9-钢板混凝土墙”一章的相关内容。开洞会产生应力集中，影响钢板混凝土结构的受力，同时也会影响结构的截面强度。针对开洞的要求目的为减小应力集中效应，以及在需要的情况下，使开洞边界区域的钢板混凝土可完全发挥其性能。当前已有小开洞对钢板混凝土墙强度影响的试验结果，因此，对于小开洞情况，可不在结构分析模型中直接考虑开洞，开洞的影响可以使用简便的方法进行计算。对于大开洞情况，由于尚无充分的试验结果，需在结构分析模型中直接考虑开洞的影响。区别小开洞与大开洞的标准为开洞的最大尺寸是否达到1/2倍钢板混凝土结构厚度，该尺寸与一般进行结构分析时采用的计算单元尺寸相比已经足够小。

a.小开洞的要求

日本学者Ozaki等人的试验结果显示，小开洞时钢板混凝土墙的最大截面强度减小幅度为15%至20%。因此，在自由边界小开洞情况下，对受开洞影响的计算单元强度进行25%的折减是保守的。为了防止自由边界小开洞附近混凝土受力劈裂，要求围绕开洞的第一排连接件距开洞边界的距离不大于1/4倍截面厚度。

开洞边界采用锚固边界形式可以使开洞处的钢板混凝土充分发挥其性能。锚固边界可以通过设置开洞处的贯穿钢袖套的方式来实现。钢袖套的两端应焊接钢翼板，钢袖套应通过连接件与周围混凝土进行连接。钢翼板应自开洞边界起向开洞外延伸至少1倍钢板混凝土截面厚度的距离，以便为应力集中区域提供额外的强度。根据钢翼板厚度的不同，钢板以不同的连接方式与钢袖套以及钢翼板进行连接—

当钢翼板厚度小于等于1.25倍钢板厚度时，钢翼板与钢板共同加强开洞区域，共同将应力集中传递至钢袖套。因此，钢板应与钢袖套和钢翼板通过焊接进行连接，连接方式示意图见图4.1.3。当钢翼板厚度大于1.25倍钢板厚度时，可认为仅靠钢翼板自身便可加强开洞区域。因此，钢板只需在钢翼板边缘处通过焊接与钢翼板连接。

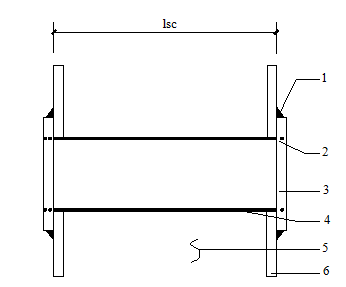


图4.1.3—钢翼板厚度小于等于1.25倍钢板厚度时，钢板与钢袖套和钢翼板连接的示意图。

1—最大尺寸角焊 2—钢套筒与钢板处等强焊接 3—钢翼板 4—钢袖套 5—混凝土 6—钢板

b.大开洞的要求

在大开洞情况下，需在结构分析模型中直接考虑开洞的影响。

当开洞边界为自由边界时，开洞边界附近的钢板混凝土不能完全发挥其性能，因此结构分析模型中的开洞尺寸应大于实际开洞尺寸。钢板混凝土的性能只有在传递长度范围外能充分发挥，因此结构分析模型中的开洞边界应取到实际开洞边界向开洞外延伸1倍传递长度的位置。由于结构分析模型中不包括开洞处性能不能完全发挥的钢板混凝土区域，因此计算时不用考虑强度的折减。

当开洞边界为锚固边界时，由于开洞处钢板混凝土能完全发挥其性能，因此在结构分析时，模型中使用实际开洞尺寸。

吊装和混凝土浇筑过程中，应验算模块挠度。混凝土浇筑工况下钢模板模块的最终变形和挠度应满足现行《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204表.7中层高垂直度和表面平整度的要求。钢板混凝土模块在吊装和其他施工阶段的验算应按照现行《钢结构设计规范》GB50017执行。

【条文说明】

混凝土浇筑侧压力一般不超过50kPa。

## 构造要求

钢板混凝土结构剪力墙单侧钢板含钢率不宜小于0.7%，不应小于0.5%，不宜大于2%，不应大于5%。

 (4.2.1)

式中：——单侧钢板含钢率；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙单侧钢板截面面积（mm2）；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙截面面积（mm2）；

栓钉的直径应小于等于1.5倍的钢板厚度。栓钉的长度应大于8倍的栓钉直径。

钢板与混凝土连接宜采用圆柱头焊（栓）钉。当采用角钢、T型钢等作为加劲肋时，可视为与栓钉一起共同作为抗剪连接件。其他类型的抗剪件应根据实验确定。

单个栓钉拉力设计值应符合下列公式要求：

 (4.2.3-1)

 (4.2.3-2)

 (4.2.3-3)

 (4.2.3-4)

式中：——单个栓钉的拉力设计值；

——单个栓钉的抗拉承载力；

——连接件拉力系数，可取为0.03；

——栓钉间距；

——钢板屈服强度设计值；

——栓钉长度；

——栓钉截面面积；

——栓钉屈服强度设计值。

【条文说明】式(4.2.3-3)是与混凝土剪切破坏对应的栓钉的抗拉承载力，式(4.2.3-4)是为保证栓钉不发生受拉屈服破坏。公式(4.2.3-3)考虑了10倍的栓钉强度折减系数，取6.5。

单个栓钉的受剪承载力设计值应符合下列公式要求：

 (4.2.4-1)

 (4.2.4-2)

式中：——单个栓钉的剪力设计值）；

——单个栓钉的抗剪承载力；

——栓钉极限抗拉强度设计值；

【条文说明】(4.2.4-2)式中是与混凝土的局部抗压能力对应的单个栓钉的受剪承载力，(4.2.4-2)式中是为保证栓钉不发生受剪屈服破坏。

栓钉间的最小间距宜为3倍栓钉直径；边距宜为1.5倍栓钉直径。

栓钉间距应符合下列公式要求：

 (4.2.6-1)

 (4.2.6-2)

同时宜满足下式要求：

 (4.2.6-3)

式中：

——单个栓钉的抗剪承载力；

——传递长度，不应超过3倍钢板混凝土构件截面厚度；

——钢板屈服强度设计值）。

——钢板混凝土剪力墙单侧钢板厚度；

——钢板混凝土结构构件厚度；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙单元平面外抗剪承载力设计值，由公式（4.3.4-1）确定。

【条文说明】式(4.2.6-1)为保证钢板的锚固长度不大于3倍构件厚度；式(4.2.6-2)为保证存在较大平面外剪力情况下钢板与混凝土之间的剪力传递能力；式(4.2.6-3)为保证钢板屈服前不发生局部屈曲。

当只设加劲肋时，加劲肋的间距应符合公式4.2.6-3的要求。

对单钢板楼板的抗剪连接件设计，应依据《钢结构设计规范》GB50017的规定执行。在最大弯矩点两侧所需的栓钉应在最大弯矩点（正弯矩或负弯矩）和相邻的零弯矩点之间均匀布置。集中荷载作用点和最相近的零弯矩点之间抗剪连接件（栓钉、加劲肋）的数量，应能传递在集中荷载作用点处的最大弯矩所产生的剪力。

双面钢板应由对拉钢筋或加劲肋、型钢、对拉钢板条和型钢组成的桁架进行连接。连接件可作为平面外抗剪构件。

在钢板混凝土剪力墙上用于直接连接管道、管线、设备支撑等的预埋件应通过试验或分析验证。

## 构件设计

钢板混凝土剪力墙单位宽度单轴抗拉承载力设计值应按下式计算：

 (4.3.1-1)

式中：

——单位宽度钢板混凝土剪力墙单轴抗拉承载力设计值；

——钢板强度设计值（MPa）；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙双侧钢板净截面面积之和；

单位宽度钢板混凝土剪力墙单轴抗压承载力设计值可按下列规定计算：

**1**当栓钉间距满足式（4.2.6-3）要求时，单位宽度钢板混凝土剪力墙单轴抗压承载力设计值应按式(4.3.2-1)或式(4.3.2-2)计算：

当未配置对穿体系时

 (4.3.2-1)

当配置对穿体系时

 (4.3.2-2)

式中：——混凝土强度设计值（MPa）；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙内填混凝土截面面积；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙双侧钢板净截面面积之和）；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙平面内轴心抗压承载力设计值。

【条文说明】计算中忽略加劲肋对抗压承载力的贡献。在韩国Choi等人以及日本Usami等人的单轴压试验中，取栓钉间距B与钢板厚度tsc比较小的试件（B/tsc=20，以保证钢板不发生弹性屈曲），按照式(4.3.2—1)的计算结果与实测结果进行对比，结果见表4.3.2-1和表表4.3.2-2，可见计算结果具有较高的精度。值得注意的是，以上两个试验中的试件均未配置对穿拉体系，当配置对穿拉结筋时，由于内填混凝土受到双向约束，混凝土的抗压强度大于混凝土的单轴受压强度，公式（4.3.2—2）统一取1倍混凝土单轴受压强度，对于配置了对穿体系的构件是偏于安全的处理。

表4.3.2-1试验承载力与模型计算值对比（Choi等人试验）

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土抗压强度Mpa | 钢板强度Mpa | 截面宽度mm | 厚度mm | 钢板厚度mm | 试验值kN | 模型计算值kN | 模型偏差 |
| 24 | 490 | 280 | 250 | 6 | 3052 | 30056 | -1.5% |
| 16 | 490 | 280 | 250 | 6 | 2539 | 2552.704 | 0.5% |

表4.3.2-2试验承载力与模型计算值对比（Usami等人试验）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土抗压强度Mpa | 面板强度Mpa | 端板强度Mpa | 截面宽度mm | 截面厚度mm | 面板厚度mm | 端板厚度mm | 试验值kN | 模型计算值kN | 模型偏差 |
| 31.2 | 287 | 366 | 640 | 200 | 4 | 5 | 5730 | 534 | -% |
| 31.2 | 287 | 366 | 640 | 200 | 4 | 5 | 5470 | 534 | -2% |

**2**单位宽度钢板混凝土剪力墙平面内单轴抗压承载力设计值应满足下列公式要求：

 (4.3.2-3)

 (4.3.2-4)

 (4.3.2-5)

式中：

——组合截面平面外的有效抗弯刚度；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙关于平面外形心主轴的截面有效惯性矩；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙两钢板关于平面外形心主轴的截面惯性矩；；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙混凝土关于平面外形心主轴的截面惯性矩；

——墙体计算高度。

【条文说明】式(4.3.2-3)是为满足墙体的整体稳定要求，计算高度L可根据钢板混凝土剪力墙的边界条件确定。

当钢板混凝土剪力墙两侧钢板对称布置时，单位宽度墙体的平面外抗弯承载力设计值，应按下式计算：

 (4.3.3-1)

式中：

——单位宽度组合墙平面外抗弯承载力设计值；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙单侧钢板净截面面积；

——两侧钢板之间的型心距离；

——钢板混凝土剪力墙截面混凝土厚度；

【条文说明】受弯承载力计算可参考对称配筋的钢筋混凝土梁计算方法。对称配筋的钢板混凝土梁的受弯承载力试验表明，当受拉区混凝土受拉开后，中和轴快速上移，很快靠近受压侧钢板。公式（4.3.3-1）是对受弯承载力的近似计算方法，内力臂近似取两侧钢板型心距Z的0.9倍。图4.-1中共对32个钢板混凝土试件受弯承载力测试值与计算值进行了对比，其中上海交大完成的试件1个，英国T.O.S.Oduyemi等学者完成的试件4个，英国的M.Xie等完成的试件4个，英国CityUniversity的McKinkey与Boswell完成的试件13个，Purdue大学的Varma等完成的试件1个，韩国SeoulNationalUniversity完成的试件2个，日本Takeuchi等完成的试件2个，新加坡的J.Y.RichardLiew等学者完成的试件5个。从对比中可以看出，抗弯承载力实测值与式（4.3.3-1）计算值之比大部分大于1.0。

图4.3.3-1对称布置的钢板混凝土梁受弯承载力测试值与计算值之比

单位宽度钢板混凝土剪力墙的平面外抗剪承载力设计值可根据如下计算公式确定。对拉抗剪件的间距应保证45度裂缝与之相交。

 (4.3.4-1)

 (4.3.4-2)

 (4.3.4-3)

式中：——单位宽度范围内混凝土提供的平面外抗剪承载力设计值（）；

——单位宽度范围内平面外对拉抗剪件提供的平面外抗剪承载力设计值（）；

——对拉抗剪件的抗拉强度设计值（MPa）；

——混凝土单轴抗拉强度设计值（MPa）；

——对拉抗剪件沿构件横向的间距（mm）；

——对拉抗剪构件沿构件纵向的间距（mm）。

【条文说明】公式（4.3.4-1）表示的平面外抗剪承载力由混凝土贡献项Vc和对穿钢贡献项Vs组成，是与国内外试验数据进行对比建立的经验公式。试验数据包括上海交通大学进行的18个深梁试件（包括15个简支梁和3个连续梁）和9个普通梁（长梁）试件的抗剪承载力，以及国内外学者进行的组合梁试验数据（仅限发生剪切破坏的试件，包括美国Purdue大学Varma等完成的试件6个，新加坡国立大学Yan等完成的试件7个，日本的Takeuchi等完成的试件16个，韩国SeoulNationalUniversity的Hong等完成的试件4个，中冶研究总院吴婧姝等完成的试件3个），将实测抗剪承载力（包括临界开裂荷载Vcr和极限抗剪承载力Vu）与按照（4.3.4-1）式的计算结果进行对比，所有材料强度均取为实测强度。部分文献中没有给出明确的临界开裂荷载，只能从作者给出的数据中找出极限承载力Vu的数据，该部分试件没有放入与Vcr的对比中。对比情况详见图4.3.4-1和4.3.4-2。对比结果表明大部分测试承载力高于公式（4.3.4-1）的计算值，对于部分测试值低于计算值的试验，对穿件的配钢率偏高。

图4.3.4-1实测抗剪开裂荷载与式(4.3.4-1)的对比

图4.3.4-2实测抗剪承载力与式(4.3.4-1)的对比

平面内纯剪受力状态下，单位宽度钢板混凝土剪力墙单元的剪力设计值应按下式计算：

 (4.3.5-1)

式中：——单位宽度钢板混凝土剪力墙单元平面内抗剪承载力设计值；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙单元剪力设计值。

【条文说明】钢板混凝土单元的平面内纯剪受力状态，等效于将单元旋转45°后的双向拉压（拉力与压力绝对值相等）主内力受力状态。由于混凝土受拉开裂，主拉方向的拉力主要由钢板承受，主压方向上的压力由混凝土和钢板共同承受，达到极限状态时对应的剪力为：



式中为钢板的第一主应力。

单元的受剪承载力由钢板的平面内弹塑性受力行为决定。

假定钢板的屈服服从于vonMises屈服准则，钢板刚刚屈服时的承载力可表示为：



式中为钢板屈服时对应的剪力，为钢板的抗剪刚度，，为混凝土的抗剪刚度，，为钢板的剪切模量，为混凝土的泊松比。

当钢板刚刚屈服时，其第一主应力（与单元主拉内力方向相同）可能大于钢板的单轴抗拉强度fy（钢板的配钢率较小）；也可能小于钢板的单轴抗拉强度fy（钢板的配钢率较大），但是，无论哪种情况，钢板屈服后，钢板混凝土单元承受的剪力都可以继续增加，直至钢板的第一主应力达到约，此时对应的剪力为。考虑到钢板屈服后的抗剪刚度有所降低，为简化公式，本规范近似取作为单位宽度钢板混凝土剪力墙单元平面内纯剪承载力设计值。

Takeda和Ozaki等人分别进行了一系列钢板混凝土单元平面内纯剪承载力试验，试验实测屈服承载力及极限承载力与公式（4.3.5-1）计算值的对比分别见图4.3.5-1和图4.3.5-2。可见，公式（4.3.5-1）对于极限承载力由一定的安全储备，对于屈服承载力，具有较高的计算精度。

图4.3.5-1实测屈服承载力与计算值对比

图4.3.5-2实测极限承载力与计算值对比

单位宽度钢板混凝土剪力墙单元平面内单向轴力与剪力共同作用时如图4.3.6-1所示，平面内剪力设计值应满足式(4.3.6-1)和式(4.3.6-2)的要求—



图4.3.6-1平面内剪力与单向轴力共同作用下的钢板混凝土剪力墙单元

 (4.3.6-1)

 (4.3.6-2)

其中

 (4.3.6-3)

式中：——单位宽度墙体单向轴力作用下的抗剪承载力设计值；

——单位宽度墙体单元与单元x坐标平行的轴向力设计值；

——单位宽度钢板混凝土剪力墙单元内裂缝间混凝土抗压强度设计值，按下式计算：



【条文说明】单位宽度钢板混凝土剪力墙在平面内单向轴力和剪力共同作用下的破坏准则如图4.3.6—2所示：



图4.3.6-2单向轴力与剪力共同作用时的破坏准则

钢板混凝土剪力墙构件平面内压弯复合作用下如图4.3.7所示，平面内承载力设计值可按下式计算：

 (4.3.7-1)

 (4.3.7-2)

 (4.3.7-3)

 (4.3.7-4)

式中：——钢板混凝土剪力墙平面内抗弯承载力设计值；

——钢板混凝土剪力墙轴向压力设计值；

*hw*——钢板混凝土剪力墙的宽度。



图4.3.7钢板混凝土剪力墙平面内压弯作用下的计算简图

【条文说明】本条文涵盖大偏心和小偏心受压两种情况。

单位宽度钢板混凝土剪力墙单元在平面内薄膜内力作用下的承载力应按下列规定计算：

**1**平面内薄膜内力作用下的钢板混凝土剪力墙可采用图4.3.8计算简图。



图4.3.8单位宽度钢板混凝土剪力墙在平面内薄膜内力作用下的计算简图

**2**对于承受如图.8所示薄膜内力作用的单位宽度钢板混凝土剪力墙单元，其平面主内力设计值应满足式(4.3.8-1)至式(4.3.8-3)的要求：

##### 当，且时

 (4.3.8-1)

##### 当，且时

 (4.3.8-2)

##### 当时，则

 (4.3.8-3)

式中：——单位宽度钢板混凝土剪力墙单元最大平面主内力、最小平面主内力设计值，可分别按下列公式计算：





【条文说明】在平面内薄膜内力作用下，单位宽度钢板混凝土剪力墙单元在主内力坐标系的破坏包络线如图4.3.9所示。

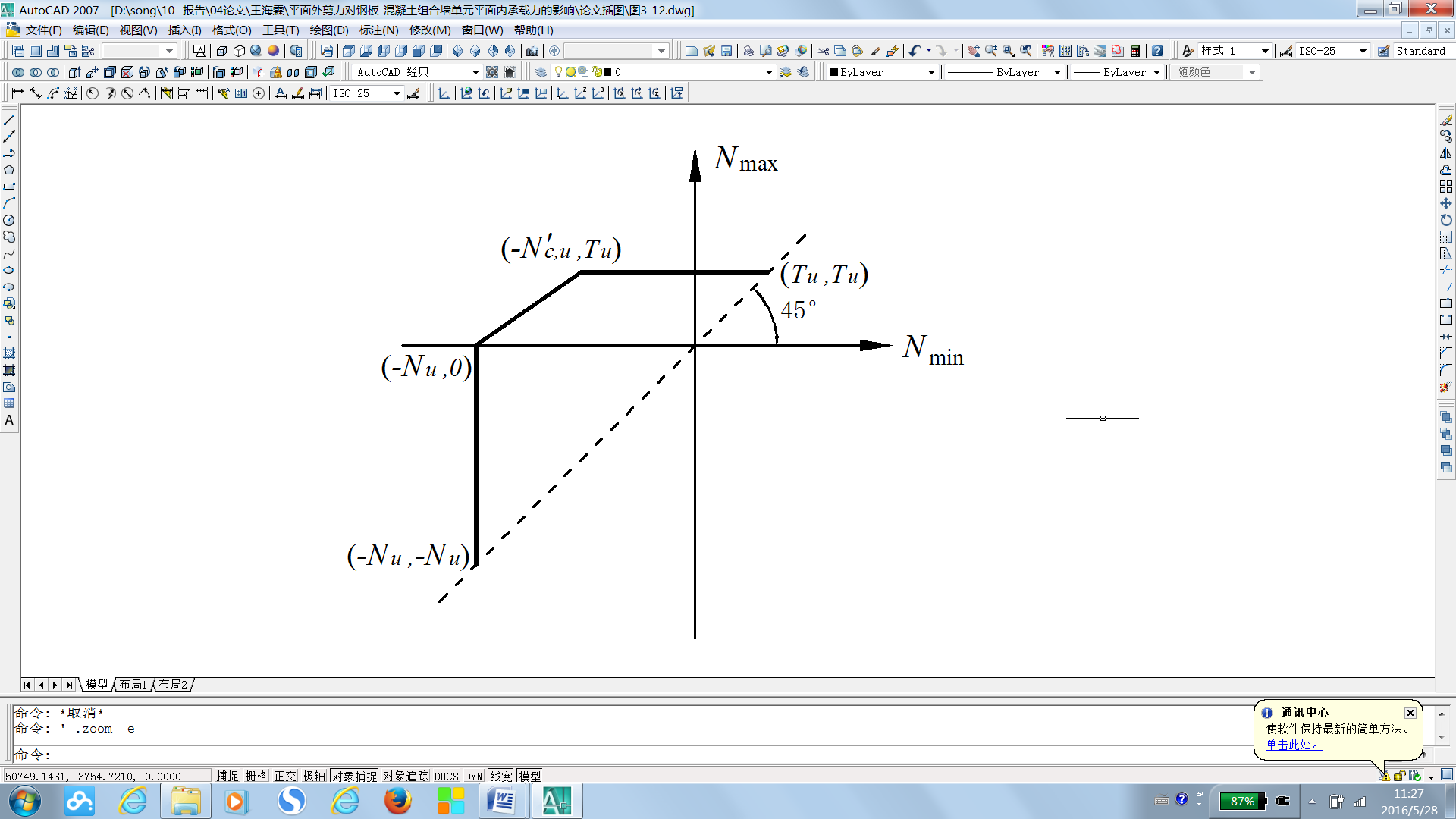


图4.3.9单位宽度钢板混凝土剪力墙单元在主内力坐标系的破坏包络线

## 楼板设计

正弯矩区单钢板混凝土板的正截面承载力应按下列规定计算：

**1**基本假定：

###### **1**）钢板与混凝土板之间为完全抗剪连接，忽略钢板与混凝土之间相对滑移；

###### **2**）不考虑混凝土抗拉强度；

###### **3**）截面应保持平面；

###### **4**）混凝土受压的应力与应变关系参照现行《混凝土结构设计规范》GB50010-2010节中规定取用；

###### **5**）钢板极限拉应变取为0.01。

**2**正截面受弯承载力计算

单钢板混凝土板正截面受弯承载力应符合下列规定（图4.4.1-1）。



图4.4.1-1单钢板混凝土板正截面受弯承载力计算

 （4.4.1-1）

混凝土受压区高度应按下列公式确定：

 （4.4.2-2）

为保证单钢板单钢板混凝土板符合塑性破坏形式，受压区混凝土高度尚应符合下列条件：

 （4.4.3-3）

式中：——单钢板混凝土板平面外抗弯承载力设计值；

——混凝土等效矩形应力图特征值系数；

——混凝土抗压强度设计值；

——单钢板混凝土板计算宽度；

——混凝土受压区高度；

——受压区钢筋抗压强度设计值；

——受压区钢筋总面积；

——钢板抗拉强度设计值；

——钢板厚度；

——单钢板混凝土板总高度；

——受压区纵向普通钢筋合力点至截面受压边缘的距离；

——相对界限受压区高度；其计算公式为,为混凝土等效矩形应力图特征值，为混凝土极限压应变，为钢板的弹性模量。

【条文说明】

T型钢只在单钢板混凝土板进行施工挠度控制时参与受力计算，单钢板混凝土板面外受力计算时不予考虑。

(Ⅰ)基本假定

国内三组试验共8个试件的正截面受弯破坏试验表明，其受弯破坏形式及过程同钢筋混凝土梁基本相同。

（Ⅱ）正截面受弯承载力计算

国内三组试验共8个试件的公式计算与试验对比结果见图4.4.4-2。

图4.4.1-2正截面受弯承载力公式计算值与试验值对比图

负弯矩区单钢板混凝土板的正截面承载力可参照《混凝土结构设计规范》GB50010-2010节中对称配筋结构形式进行计算。

【条文说明】当荷载为垂直向上时，单钢板混凝土板顶部钢筋受拉，钢板受压，整体受力形式与钢筋混凝土梁受力形式相同。

正弯矩区单钢板混凝土板的斜截面承载力应按如下规定计算

单钢板混凝土板斜截面抗剪承载力应符合下列规定：

 （4.4.3）

式中：——单钢板混凝土板平面外抗剪承载力设计值；

——计算截面的剪跨比，取，且当时，取，当时，取；

——混凝土抗拉强度设计值；

——单钢板混凝土板计算宽度；

——单钢板混凝土板总高度；

——抗剪增强筋的抗拉强度设计值；

——抗剪增强筋配置比例；

——钢板抗拉强度设计值；

——钢板厚度。

【条文说明】试验表明，部分试件剪跨区钢板在抗剪破坏过程中进入了屈服阶段，甚至发生了明显变形，同时单钢板混凝土板相较于钢筋混凝土结构，其截面含钢率也有较大提升，因此钢板在单钢板混凝土板抗剪破坏中的作用不可忽视。参考钢筋混凝土在斜截面抗剪承载力中带入混凝土抗拉强度计算，单钢板混凝土板斜截面抗剪极限承载力中则由混凝土抗拉强度和钢板抗拉强度两者共同决定。

国内外三组试验共20个试件的公式计算结果与试验值对比见图4.4.3。

图4.4.3斜截面抗剪承载力公式计算值与试验值对比图

正弯矩区单钢板混凝土板的刚度可按下列规定计算：

**1**单钢板混凝土板刚度计算的基本假定:

##### （**1**）钢板与混凝土板之间为完全抗剪连接，忽略钢板与混凝土之间相对滑移；

##### （**2**）截面应保持平面。

**2**单钢板混凝土板短期刚度可按下式进行计算—

 （4.4.4）

式中：——按标准组合计算的单钢板混凝土板的短期刚度；

**——单钢板混凝土板长期刚度*；*

——钢板与混凝土弹性模量比，；

——钢筋与混凝土弹性模量比，；

——截面含钢率影响系数，按式进行计算；

——钢板弹性模量；

——钢板截面面积；

——单钢板混凝土板计算宽度；

——单钢板混凝土板总高度；

——单钢板混凝土板上表面到钢板中心距离，;

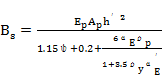
——钢板应变不均匀系数，按公式计算，且不小于0.2；其中为计算混凝土开裂弯矩，按照公式计算，其中为混凝土抗拉强度设计值，、和分别为混凝土截面、钢筋截面和钢板截面对组合板中性轴的惯性矩；

——截面钢板含钢率，计算；

——截面受压钢筋含钢率，计算；

——单钢板混凝土板平面外抗弯承载力设计值；

——单钢板混凝土板平面外抗剪承载力设计值。

【条文说明】单钢板混凝土板受弯挠度的大小主要取决单钢板混凝土板的刚度大小，由于试验证明其弯曲破坏模式及机理同钢筋混凝土相似，假定同号弯矩区段内的单钢板混凝土板刚度相同，单钢板混凝土板的短期刚度公式推导方法与钢筋混凝土受弯构件基本相同，板受压区钢筋根据等效截面法转化为钢筋混凝土T型截面。考虑到不同钢板厚度带来的刚度影响，根据试验数据拟合可得截面含钢率影响系数，按式进行计算，以上汇总可得短期刚度**的基本公式。考虑到钢板与受拉钢筋在配置位置上以及与混凝土连接的差异性，且在混凝土开裂前，单钢板混凝土板整体受力近似为弹性体，所以开裂荷载按照公式计算。

国内三组试验共8个试件的公式计算结果（取力-位移曲线中开始进入屈服的坐标作为计算，且不大于0.8极限承载力）与试验值对比如图4.4.4。

图4.4.4短期刚度公式计算所得挠度值与试验值对比图

**3**单钢板混凝土板长期刚度**可参照现行《混凝土结构设计规范》GB50010-2010节中长期刚度**与短期刚度**比例关系，将受拉钢筋截面含钢率变为受拉钢板截面含钢率代入进行计算。

单钢板混凝土板在平面内薄膜力作用下的承载力可按下列规定计算：

对于承受三个平面内力的单位宽度的单钢板混凝土板单元，可将钢筋网等效为厚度钢板，并按两侧配置不同厚度钢板的SC墙单元验算，其中，

 (4.4.5)

式中——钢筋网等效为钢板时的折算厚度；

——钢材泊松比；

——单钢板混凝土板单元中钢筋网单边配筋总面积，当两个方向纵向钢筋面积不同时，取较小值计算。

带T型钢的钢板混凝土板受垂直向下荷载作用下的挠度宜根据《钢结构设计规范》GB50017进行计算。

## 连接处设计

对下列部位应进行连接处设计：

**1**钢板混凝土剪力墙之间的对接部位；

**2**钢板混凝土剪力墙交汇点的连接件；

**3**钢板混凝土剪力墙与钢筋混凝土剪力墙之间的对接部位；

**4**钢板混凝土剪力墙与钢筋混凝土剪力墙交汇点的连接件；

**5**钢板混凝土剪力墙和单钢板混凝土楼板的连接；

**6**钢板混凝土剪力墙和钢筋混凝土楼板的连接；

**7**钢板混凝土剪力墙在钢筋混凝土基础中的锚固。

墙墙、墙的锚固以及墙的对接部位应具有传递平面外弯矩的可靠连接措施。墙楼板连接应是与分析模型相一致的刚接或铰接。对于所有的荷载组合，连接设计的要求，可根据线弹性有限元分析结果计算，允许可在连接区域单元内平均。

连接应设计为可充分利用连接的较弱部分强度的完全强度连接方式或符合连接设计要求的超强连接方式，同时确保延性破坏模式控制连接强度。

钢板混凝土墙体设计时应分为内部区域和连接区域。连接区域应由宽度不小大1倍厚度，不小于2倍厚度的周边条带区域组成。

钢板混凝土墙体的连接应采用具有相同明确可识别的力传递机制的连接件。连接件可包括—带钢帽锚栓、锚杆、拉结筋、加强筋和销栓、后张预应力筋、抗剪键、预埋型钢、焊接和螺栓、钢筋机械连接、抗压轴承。钢板和混凝土之间的直接黏接传力不应视为有效的连接或力传递机制。

对于本规范允许的每种连接方式，其连接强度应根据《混凝土结构设计规范》GB50010采用适用的力传递机制和各连接件的强度计算确定。

**1**钢板混凝土剪力墙与混凝土底板连接节点，可参见表4.5.6。

**表4.5.6 钢板混凝土结构剪力墙与底板的锚固方式**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 预埋件式锚固 | 插筋锚固 |
| 图示 | 2  1  1—地基板2—锚固（钢筋或栓钉） | 3  1    2  1—栓钉2—钢筋  3—连接材料（拉结筋） |
| 传力机制 | 钢面板的内力通过机械连接的方式（如直接焊接在锚板上）将内力直接传递给锚筋，锚筋将荷载传递到底板混凝土中。 | 钢面板的内力通过内侧剪力钉传递给内部混凝土，内部混凝土的内力通过插筋传递到底板混凝土。 |
| 计算要求 | 平面外抗弯，抗剪。  平面内抗剪。 | 平面外抗弯，抗剪。  平面内抗剪。 |

**2**钢板混凝土剪力墙与单钢板混凝土楼板连接节点，可见图4.5.6。

6

|  |  |
| --- | --- |
| 3  8  5  7  4  2  1 | |
| （a）钢板混凝土结构剪力墙与单钢板混凝土结构楼板的连接方式1 | |
| 6  1  5  3  2  4 |
| （b）钢板混凝土结构剪力墙与单钢板混凝土结构楼板的连接方式2  图4.5.6 钢板混凝土剪力墙与单钢板混凝土楼板连接节点  1—半SC结构地基2—上端钢筋3—下端钢板4—墙壁钢板  5—剪力板6—SC结构抗震墙7—钢筋锚8—连结材料或固定材料 |

**3**单钢板混凝土楼板模块的轴力、弯矩、平面内剪力应通过节点处的上层钢筋和下层钢筋（钢板）传递到钢板混凝土剪力墙模块。根据平截面假定计算轴力和弯矩共同作用时应在顶部和底部设置钢筋。平面外剪力可由上下层钢筋的剪摩擦和下部角钢支座共同承担。

# 施工

## 一般规定

钢板混凝土结构工程的施工，除应符合本规范的规定外，尚应符合《钢结构工程施工规范》GB50755和《混凝土结构工程施工规范》GB50666以及国家现行有关标准的规定。

凡是参与钢板混凝土结构施工的人员必须经过质保、安全培训，以及相应岗位技能培训，并取得上岗资格。

起重机操作人员、指挥人员、司索工、电气焊工和电工等特殊工种应取得国家相关部门颁发的特种作业人员操作证。

所有的焊接均应由具有相应资质的焊工按照相应的焊接工艺规程并使用合格的焊接设备来完成。

无损检测人员应按HAF602的要求取得民用核安全设备无损检验资格证书，或按设计要求取得相应的资格证书，在资格证书有效期内，从事权限范围内的无损检测工作。

施工中所需的专用设备、工具、索具和各类消耗品应准备齐全，并得到有效验证。计量器具应检定合格并在有效期内，其他工器具应具有有效的合格证，符合技术要求。

所有工程材料使用前应按照相关标准规范进行检验验收。

施工前应进行相关的工艺评定，制定焊接工艺规程、质量计划和方案/程序。

## 钢结构模块的制作组装

下料前，应根据施工图绘制钢结构加工详图。号料、下料应根据结构构件的特点，综合考虑切割、打磨、焊接收缩、二次切割、材料节约等因素。

构件下料可采用气割、机械剪切或其他方法，切割表面应平滑无毛刺，且无凹坑、裂纹等缺陷；材料表面不应有明显的损伤或划痕。

构件在组对时应考虑焊接变形等因素，可采取刚性固定法组对、反变形法组对等，必要时可加设临时固定设施。

坡口焊缝在组对时，应根据焊接工艺规程的要求控制组对间隙，坡口角度应符合焊接技术要求，不能产生凹坑等缺陷。

焊接过程中应按照焊接工艺规程的要求以及热处理工艺的要求进行，焊接应在组对尺寸检查合格后进行，焊接过程中应重点控制焊缝的组对间隙及焊接线能量。

焊缝应不存在夹渣、气孔、未熔合、咬边等缺陷，同一道焊缝的组对间隙应尽量一致。

碳钢构件可采用冷矫形或热矫形，不锈钢构件不应采用热矫形。

构件上的锚固钉可采用手工焊或螺柱焊，锚固钢筋可采用手工焊或埋弧螺柱焊。

构件拼装场地基础承载力应满足设计要求。

构件组装的定位及尺寸公差满足设计要求。

构件组装完成后应对组装焊缝进行防腐处理，防腐处理的构件表面粗糙度等应满足设计文件要求。

组装完成后，对于需现场焊接的部位，应加以覆盖保护。

焊接构件（包括墙模块中的角钢、加劲板、隔板、板模块中的梁）的定位偏差不应超过±3mm。墙模块桁架中角钢与槽钢搭接长度偏差不应超过±6mm，槽钢的竖向定位偏差不应超过±13mm，如图5.2.13-1和图5.2.13-2所示。结构型钢的焊接接头与板的拼接接头的距离不应小于600mm。



X±6mm

X±6mm

图5.2.13-1角钢槽钢搭接长度偏差平面图



X±13mm

1

1—基准面

图5.2.13-2槽钢竖向定位偏差立面图

栓钉间距偏差不应超过±10%的设计间距。栓钉边缘到板边缘的距离不应小于栓钉直径d加上3mm，如图5.2.14所示。



d

≥1.5d+3mm

X±0.1X

图5.2.14栓钉间距和边距

【条文说明】—这部分参考了《压水堆核电厂模块设计要求第2部分—结构模块》NB/T 20258.2-2014。

墙和楼板的加强构件垂直度偏差不应超过±2°，板和墙的贯穿件垂直度偏差不应超过±1°，如图5.2.15所示。



0°±2°

0°±2°

0°±1°

图5.2.15加强构件和贯穿件垂直度偏差

钢筋机械连接套筒开洞中心线定位偏差不应超过±6mm；贯穿件在钢面板上开洞中心线定位偏差不应超过±3mm。如无特殊要求，钢筋机械连接套筒和贯穿件中心定位偏差一般不应超过±6mm。

钢板混凝土墙体子模块的板竖向边缘对齐偏差不应超过±3mm，如图5.2.17中平面图所示。

钢板混凝土墙体子模块面板的顶部和底部边缘水平对齐偏差不应超过±6mm，如图5.2.18中立面图所示。

2

1



3

图5.2.18板边缘对齐偏差图.18板边缘对齐偏差

1—平面图2—立面图3—板边缘对齐偏差

与预埋件相接的墙面板底边缘应平行于水平基准面，其板边缘任一点的竖向容许公差范围为±3mm，如图5.2.19所示。



4

3

2

1

1

图5.2.19与预埋件连接墙体下边缘竖向公差

1-水平基准面2—预埋板3—设计标高4—公差范围

钢板混凝土模块制作完成后，墙面板竖向垂直度偏差Dx应满足以下要求—焊缝区域（面板对接焊缝两侧150mm范围内）偏差不超过9mm，其他区域偏差不超过7mm；且采用m标尺检测模块面板平整度时，标尺跨越焊缝区域时偏差不超过9mm，其他区域偏差不超过7mm，如图5.2.20所示。

2

1



Dx

5

6

4

3

Dx

图5.2.20墙面板垂直度偏差要求

1—墙面板设计位置（面板表面）2—公差平面3—板顶4—墙面板实际位置

5—板底6—公差带

## 钢结构构件的运输与吊装

负责承担吊装作业的承包商应有健全的组织机构，完善的质量和安全管理体系。

钢结构构件运输前，应根据钢构件的形状、重量、结构特点、运距等，结合现场情况综合考虑，选择合适的运输方式和运输设备，确保运输安全和构件不变形。

进行构件吊装作业时，承包商应配备专职安全人员负责区域控制和安全监管。

起重机械应性能稳定、安全可靠，严禁超载荷使用。

起重机在吊装作业前应确保各部件已正确安装且运行状况良好，各机构功能应正常，安全保护装置配备应齐全且功能有效，起重机在使用前应经过必要的试验验证，包括空载和负载试验。

在正式吊装前应进行试吊，检验起重机性能、吊索具、载荷等满足吊装要求。

吊索具、工机具及材料应具有产品合格证明文件，有要求时，应具备设计及计算文件、检测记录和报告。

吊装场地地基承载力、天气条件等应满足吊装作业要求。

吊装作业前应对现场吊装作业区域进行清理，确保起重机行走、回转区域内无障碍物。

吊索具应满足最大吊装载荷下强度和刚度要求，吊耳的形式、位置及数量应满足吊装工艺要求。

钢结构构件吊装必须根据构件的重量、体积、形状等选用合适的吊索具和吊耳并进行验算，以满足吊装要求。

吊耳应按照图纸和规范的要求，对吊耳焊接质量进行检测。

起重机行走、变幅、回转、起升、降落速率应满足吊装安全及吊机本身性能要求。

钢结构吊装的吊索具应按相关要求进行安装和调整，吊装构件的水平度应满足相应吊装要求。

钢结构构件吊装前，应复测安装位置范围内的预埋件、牛腿、地脚螺栓等的位置，以及钢结构构件安装空间尺寸等，不满足安装要求的应及时处理。

被吊钢构件就位后应及时固定，经确认后方可拆除吊装索具。

## 钢结构构件的安装

钢结构构件吊装就位后，及时进行检查、调整，经检查符合相关标准规范要求后方可进行连接。

钢结构构件安装后，应对相应的安装焊缝按相关要求进行无损检测。

钢结构构件安装后，相关附件板及钢筋的安装应符合设计要求中有关焊接和机械连接的要求。

钢结构构件现场安装工作完成后，应对原涂层破损处进行油漆修补，对焊缝处要进行油漆补涂，现场修补用的油漆、施工环境、工艺及技术要求符合设计要求。

钢结构安装后，应对不锈钢焊接及热影响区进行酸洗钝化处理。

钢结构安装后，应按相关要求对其几何尺寸、位置等进行检查，应满足相关要求。

钢结构构件安装作业结束后，应对现场进行清理，做到工完、料净、场地清。

钢板拼接时错边量不大于较薄板厚的10%，且不大于3mm。在公差允许范围内的任何错边应采用至少1—3的坡度平滑过渡。

钢板混凝土模块拼装完成后，墙面板竖向垂直度偏差应满足以下要求—焊缝区域（面板对接焊缝两侧150mm范围内）偏差不超过14mm，其他区域偏差不超过10mm；且采用m标尺检测模块面板平整度时，标尺跨越焊缝区域时偏差不超过14mm，其他区域偏差不超过10mm。

## 钢筋施工

钢筋的加工、安装应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB50666的相关规定。

钢筋焊接应遵照《钢筋焊接及验收规程》JGJ18的相关规定。

钢筋机械连接应遵照《钢筋机械连接技术规程》JGJ107的相关规定。

采用钢筋锚固块替代钢筋进行锚固时，锚固块的钢筋锚固长度及混凝土保护层厚度等符合《混凝土结构设计规范》GB50010的相关规定。

钢筋通过带法兰的机械连接套筒与钢板焊接连接应遵照设计文件要求，当设计文件无要求时，可参考图5.5.5进行。

1



1

2

3

图5.5.5钢筋通过带法兰的机械连接套筒与钢板焊接型式

1—钢筋2—套筒3—钢板

钢筋通过可焊型机械连接套筒与钢板焊接连接应遵照设计文件要求，当设计文件无要求时，可参考图5.进行。



3

2

1

图5.5.6钢筋通过可焊型机械连接套筒与钢板焊接型式

1—钢筋2—套筒3—钢板

## 预埋件施工

承包单位应绘制预埋件加工详图。

锚筋的焊接端头应平整或按设计要求加工成坡口。

预埋件应根据测设的定位轴线进行安装，安装就位后必须进行复核。

预埋件安装后应确保预埋件表面洁净、无油脂、铁锈和污垢等附着物。

预埋件应固定牢固，确保在混凝土浇筑过程中不得移位或松动。

钢结构模块上的预埋件安装应按照设计要求的焊接方式进行固定。

## 混凝土施工

混凝土配合比的设计和应用应满足国家相关标准的要求。

混凝土应采用集中搅拌方式生产，并符合《预拌混凝土》GB/T14902的相关规定。

自密实混凝土施工前，应选择具有代表性的钢板混凝土结构节点，进行自密实混凝土浇筑模拟试验，验证施工工艺和自密实混凝土的相关性能。

混凝土的泵送和浇筑过程应保持连续，防止出现混凝土出现冷缝。

钢板混凝土结构应均匀对称浇筑，防止钢板发生超过允许偏差的变形。

混凝土在低温天气下浇筑时，应按照《建筑工程冬期施工规程》JGJ104的相关规定进行。

混凝土高温天气下浇筑时，应按照《混凝土结构工程施工规范》GB50666的相关规定进行。

混凝土性能试验符合《普通混凝土性能试验方法标准》GB/T50080和《混凝土力学性能试验方法标准》GB50081的相关规定。

# 验收

## 一般规定

核电站钢板混凝土结构工程应在施工单位自行检验评定合格的基础上，按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300的规定进行子分部工程验收。

除本规范规定外，钢板混凝土施工质量的验收还应按照设计文件、现行核电相关标准以及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205、《钢－混凝土组合结构施工规范》GB50901、《钢管混凝土工程施工质量验收规范》GB50628及《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204中相关规定执行。

核电站钢板混凝土结构子部工程应按表6.1.3划分为8个分项工程。

表6.1.3 核电站钢板混凝土结构子分部工程分项工程

|  |  |
| --- | --- |
| 子分部工程 | 分项工程 |
| 核电站钢板混凝土结构 | 钢板制作、钢板焊接、钢板与栓钉连接、钢板与加劲肋连接、钢板模块安装、混凝土、预埋件、钢筋 |

## 原材料

核电站钢板混凝土结构所用钢材、焊接材料、涂装材料等原材料应满足设计文件要求以及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205对其主控项目及一般项目的验收要求。

核电站钢板混凝土结构所用混凝土，其原材料应满足设计文件要求以及现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204对其主控项目及一般项目的验收要求。

## 钢材加工工程

**I主控项目**

主控项目应按照设计文件要求以及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205中相关规定执行。

**II一般项目**

钢板矫正后局部平面度允许偏差应符合表6.3.2的规定。检查数量按矫正件数抽查10%，且不应少于3件。检验方法为实测检查。

表6.3.2 钢板矫正后局部平面度允许偏差(mm)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | 允许偏差△ | 图例 |
| 钢板局部平面度 | t≦14 | 1.5 | 1000 |
| t>14 | 1.0 |

其它一般项目应按设计文件要求以及照现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205中相关规定执行。

## 钢构件拼接、安装工程

**I主控项目**

应对其采用的栓钉和钢板的焊接应进行焊接工艺评定，其结果应符合设计要求和国家现行标准的规定，焊缝不应有肉眼可见的明显缺陷。检查数量为全数检查。检验方法为检查焊接工艺评定报告，观察和小锤敲击检查

栓钉焊接后应进行原位拉拔试验，栓钉达到屈服强度标准值时，焊缝不应有肉眼可见的裂纹。

检查数量：当单个模块栓钉总量不大于1000个时，每个模块随机抽取3组，每组3个；当单个模块栓钉总量在1000～3000时，每个模块随机抽取6组，每组3个；当单个模块栓钉总量不小于3000个时，每个模块随机数量不应少于0%，抽取总量应为3的倍数，3个为一组。

检验方法：用拉拔仪检验和观察检查。

其它主控项目应按照设计文件以及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205中相关规定执行。

碳钢和低合金钢相关焊缝最小检测比例及相关要求应符合表6.4.4.的规定。

表6.4.4 碳钢和低合金钢焊缝最小检测比例及相关要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 焊缝类型 | 目视检测（VT） | 液体渗透检测（PT）或磁粉检测（MT） | 超声检测（UT）  或射线检测（RT） |
| 角焊缝 | 100% | 不要求 | 不适用 |
| 部分熔透焊缝 | 100% | 20%(表面) | 不适用 |
| 完全熔透焊缝 | 100% | 100%(表面) | 20%，且检测长度应不小于200mm，当焊缝长度不足200mm时，应对整条焊缝进行检测。 |

与腐蚀性介质接触的A240S32101双相不锈钢相关焊缝最小检测比例及相关要求应符合表6.4.5的规定。

表6.4.5 双相不锈钢相关焊缝最小检测比例及相关要求

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 焊缝类型 | 目视检测（VT） | 液体渗透检测（PT）或磁粉检测（MT） | 超声检测（UT）  或射线检测（RT） | 泄漏检测（LT） |
| 角焊缝 | 100% | 100%(表面) | 不适用 | 100% |
| 部分熔透焊缝 | 100% | 100%（根部和表面） | 不适用 | 100% |
| 完全熔透焊缝 | 100% | 100%（根部和表面） | 20%，且检测长度应不小于150mm，当焊缝长度不足150mm时，应对整条焊缝进行检测。 | 100% |

**II一般项目**

混凝土浇筑完毕之后应对单个构件钢板净距进行检查，其允许偏差应符合表6.4.6的规定。

检查数量：按构件数抽查10%，且不少于3件。

检验方法：用钢尺检验。

表6.4.6 钢板净距允许偏差

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 允许偏差 | 图例 |
| 钢板净距 | ±d/200 | d |

钢板焊接连接组装的允许偏差应符合表6.4.7的规定。

检查数量：按构件数抽查10%，且不少于3件。

检验方法：用钢尺检验。

表6.4.7钢板焊接连接组装的允许偏差（mm）

t

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 允许偏差 | 图例 |
| 对口错边△ | t/10,且不应大于2.0  t | a  a  a |
| 间隙a | ±1.0  t |

其它一般项目应按照现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205中相关规定执行。

结构模块的安装公差一般为水平偏差不超过13mm，标高偏差不超过3mm，角度偏差不超过1°。

结构模块安装前，一般在其坐落的基础底板上设置就位预埋件，该预埋件应满足—

1）板平整度—与模块接触的预埋板顶面应平直，平整度偏差不应超过1mm。

2）板标高—与模块接触的预埋板顶面安装后的公差为+1.5mm，-0mm。

3）板水平定位—预埋板安装后的位置与设计位置水平方向的偏差不应超过13mm。

钢板混凝土模块安装完成后，墙面板竖向垂直度偏差应满足以下要求—焊缝区域（面板对接焊缝两侧150mm范围内）偏差不超过19mm，其他区域偏差不超过13mm；且采用m标尺检测模块面板平整度时，标尺跨越焊缝区域时偏差不超过19mm，其他区域偏差不超过13mm。

## 混凝土分项工程

**I主控项目**

混凝土浇筑7天后，应进行原位钻芯取样，芯样应贯穿取样，每个芯样制作成3个标准试件；标准试件公称直径应为100mm、高径比为1:1；标准试件应进行同条件养护，养护至28d或设计规定龄期后方能进行抗压强度检验。

检查数量：根据检验批的容量确定，每批贯穿芯样不应少于3个。

钻芯位置：芯样应从检验批的结构构件中随机抽取。

检验方法：按照现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T50107进行评定。

【条文说明】混凝土浇筑之后，需沿墙高方向贯穿取样，方能再进行下一批混凝土的浇筑。若达到养护龄期（一般情况下为28天）再进行钻芯取样，会影响施工进度。通常情况下，混凝土在养护7天后强度可以达到75%以上，可以进行钻芯取样，芯样与原混凝土构件在同条件下养护至28天或设计规定龄期后再进行抗压强度检验。

混凝土内部缺陷及密实度应采用超声法进行检验。

检查数量：抽取30%的构件进行超声法检测，对于重要构件或部位（如拐角、连接节点、施工缝位置）应100%进行超声法检测。

检验方法：宜采用埋入式超声波、表面式超声波或其它测定方法，按照现行行业标准《超声法检测混凝土缺陷技术规程》CECS21进行评定。

其它主控项目应按照设计文件以及现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204中相关规定执行。

**II一般项目**

一般项目应按照现行设计文件和国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204中相关规定执行。

## 预埋件分项工程

**I主控项目**

钢板混凝土结构预埋件主要包括预埋钢筋、预埋螺栓、预埋型钢等；预埋构件应进行现场拉拔试验。

检查数量：根据检验批的容量确定，随机抽查数量不少于1%。

检验方法：按设计文件要求以及现行标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ18-2012等国家标准进行检验、评定。

**II一般项目**

一般项目应按照设计文件以及现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204中相关规定执行。

# 附录A典型钢板混凝土模块

典型钢板混凝土模块由钢板和钢板间（上）的混凝土组合而成，两者通过焊接在钢板上的栓钉协同工作，其中钢结构部分（钢板、栓钉以及在运输、施工中支撑钢板的桁架结构，典型墙体模块和楼板模块分别如图A.1和图A.2所示）可先在工厂加工成可运输的子模块，运到现场进行拼装，然后采用吊车吊装就位，最后在钢板之间（上）浇筑混凝土，从而形成完整的厂房结构。

4



3

2

1

图A.0.1典型钢板混凝土墙体模块

1—栓钉2—角钢3—槽钢4—钢面板



3

2

1

图A.0.2典型钢板混凝土楼板模块

1—钢面板2—T型钢3—栓钉

# 附录B钢板混凝土模块典型连接节点

钢板混凝土模块与核岛底板可采用插筋锚固连接，典型的连接方式如图B.0.1所示。



3

2

1

图B.0.1钢板混凝土模块墙体与基础底板插筋锚固典型连接节点立面图

1—搭接长度2—锚固长度3—基础底板

钢板混凝土模块与混凝土墙体一般采用钢筋搭接连接，典型的连接方式如图B.0.2所示。



4

3

2

1

图B.0.2钢板混凝土模块墙体与相邻钢筋混凝土墙体典型连接节点平面图

1—锚固长度2—搭接长度3—模块墙体4—混凝土墙体

钢板混凝土模块墙体和楼板的典型连接节点如图B.0.3所示。

4

3



6

5

3

2

1

图B.0.3钢板混凝土模块墙体与楼板典型连接节点立面图

1—混凝土楼板2—预制板3—搭接长度4—模块墙体5—锚固长度6—模块楼板

# 附录C平面外抗剪强度的拉压杆模型

**C.0.1**平面外抗剪强度的拉压杆模型

在计算平面外抗剪强度时可采用拉压杆模型。

# 附录D 钢板混凝土子分部工程质量验收记录

**D.0.1**钢板混凝土子分部工程质量应由施工企业工程项目经理部组织检查合格后，总监理工程师（建设单位项目专业负责人）组织施工项目经理和有关勘察、设计单位项目负责人进行验收，并按表D.0.1记录。

表D.0.1钢板混凝土子分部工程验收记表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | | |  | 结构类型 | | |  | 层数 |  |
| 施工单位 | | |  | 技术部门负责人 | | |  | 质量部门负责人 |  |
| 分包单位 | | |  | 分包单位负责人 | | |  | 分包技术负责人 |  |
| 序号 | | 分项工程名称 | | | 检验批数 | 施工单位检查评定 | | 验收意见 | |
| 1 | |  | | |  |  | |  | |
| 2 | |  | | |  |  | |
| 3 | |  | | |  |  | |
| 4 | |  | | |  |  | |
| 5 | |  | | |  |  | |
| 6 | |  | | |  |  | |
|  | |  | | |  |  | |
| 质量控制资料 | | | | |  |  | |  | |
| 安全和功能检验（检测）报告 | | | | |  |  | |  | |
| 观感质量验收 | | | | |  | | | | |
| 验收  单位 | 分包单位 | | | | 项目经理年月日 | | | | |
| 施工单位 | | | | 项目经理年月日 | | | | |
| 勘察单位 | | | | 项目负责人年月日 | | | | |
| 设计单位 | | | | 项目负责人年月日 | | | | |
| 监理（建设）单位 | | | | 总监理工程师 （建设单位项目专业负责人）年月日 | | | | |

表D.0.2钢板混凝土工程质量控制资料核查记录

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | |  | 施工单位 |  | | |
| 序号 | 资料名称 | | | 份数 | 核查意见 | 核查人 |
| 1 | 图纸会审、设计变更、洽商记录及施工图设计文件审查报告； | | |  |  |  |
| 2 | 工程定位测量、放线记录； | | |  |  |  |
| 3 | 专业钢结构加工厂、现场加工车间验收记录； | | |  |  |  |
| 4 | 施工组织设计、施工方案和制作工艺文件； | | |  |  |  |
| 5 | 施工缝留置及处理的专项施工方案，施工缝处理记录； | | |  |  |  |
| 6 | 钢材、钢板、主要焊接材料的合格证、进场验收记录、复试检测报告； | | |  |  |  |
| 7 | 焊工合格证、焊接工艺评定报告； | | |  |  |  |
| 8 | 一、二级焊缝内部质量超声波探伤、射线探伤记录； | | |  |  |  |
| 9 | 钢板涂装质量检测报告； | | |  |  |  |
| 10 | 混凝土配合比报告（预拌混凝土合格证）、坍落度测定记 录，收缩性能试验报告、混凝土强度评定报告及同条件养 护试块评定报告； | | |  |  |  |
| 11 | 隐蔽工程验收记录； | | |  |  |  |
| 12 | 分项工程质量验收记录； | | |  |  |  |
| 13 | 工程质量事故及事故调查处理资料； | | |  |  |  |
| 14 | 设计要求的其他资料。 | | |  |  |  |
| 15 |  | | | | | |
| 结论—  总监理工程师 施工单位项目经理年月日（建设单位项目负责人）年月日 | | | | | | |

表D.0.3钢板混凝土工程安全和功能检验资料核查及主要功能抽查记录

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | |  | 施工单位 | |  | | |
| 序  号 | 安全和功能检查项目 | | | 分数 | 核查意见 | 抽查结果 | 核查人 |
| 1 | 结构实体混凝土强度 | | |  |  |  |  |
| 2 | 现场加工和安装焊缝内部质量检测 | | |  |  |  |  |
| 3 | 钢板涂装厚度检测 | | |  |  |  |  |
| 4 | 预埋件 | | |  |  |  |  |
| 5 | 栓钉 | | |  |  |  |  |
| 6 | 设计要求的检测项目 | | |  |  |  |  |
|  |  | | |  |  |  |  |
|  |  | | |  |  |  |  |
|  |  | | |  |  |  |  |
| 结论—  总监理工程师 施工单位项目经理年月日（建设单位项目负责人）年月日 | | | | | | | |

表D.0.4钢板混凝土工程观感质量检查记录

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | |  | | 施工单位 |  | | | |
| 序号 | 项目 | | 抽查质量状况 | | | 质量评价 | | |
| 好 | 一般 | 差 |
| 1 | 钢板混凝土剪力墙墙底锚固情况 | |  | | |  |  |  |
| 2 | 钢板安装焊缝外观质量 | |  | | |  |  |  |
| 3 | 钢板拼接及结构连接质量 | |  | | |  |  |  |
| 4 | 涂装质量 | |  | | |  |  |  |
| 5 | 标志、标识 | |  | | |  |  |  |
| 6 |  | |  | | |  |  |  |
| 结论—  总监理工程师 施工单位项目经理年月日（建设单位项目负责人）年月日 | | | | | | | | |

# 附录E检验批质量验收记录

分项工程分段施工或较大时，可分为几个检验批来进行验收。分项工程检验批质量验收记录应由施工项目经理部专业质量检查员填写，监理工程师（建设单位项目专业技术负责人）组织项目专业质量检查员等进行验收。钢板加工制作分项工程施工质量验收应符合表E.0.1的规定。

表E.0.1钢板加工制作检验批（分项）工程质量验收记录

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | | |  | | | 分项工程名称 | | | | |  | | | | 验收部位 | | | | |  | |
| 施工单位 | | |  | | | 专业工长 | | | | |  | | | | 项目经理 | | | | |  | |
| 施工执行标准 名称及编号 | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 分包单位 | | |  | | 分包项目经理 | | | | | |  | | | | | | | | 施工班组长 | |  |
| 验收规范规定 | | | | | 施工单位检查评定记录 | | | | | | | | | | | | | | 监理（建设）单位 验收记录 | | |
| 主控项目 | 1 |  | | |  | | | | | | | | | | | | | |  | | |
| 2 |  | | |  | |  |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | | | |
| 3 |  | | |  | |  |  |  |  | |  |  |  | |  |  |
| 4 |  | | |  | |  |  |  |  | |  |  |  | |  |  |
| 一般项目 | 1 |  | | |  | | | | | | | | | | | | | |  | | |
| 2 |  | | |  | |  |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  | | | |
| 3 |  | | |  | |  |  |  |  | |  |  |  | |  |  |
| 4 |  | | |  | |  |  |  |  | |  |  |  | |  |  |
| 施工单位检查  评定结果 | | | | 项目专业质量检查员—年月日 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 监理（建设）单位  验收结论 | | | | 监理工程师  （建设单位项目专业技术负责人）—年月日 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

# 附录F分项工程质量验收记录

分项工程质量应由施工项目经理部专业质量检查员填写，监理工程师（建设单位项目专业技术负责人）组织项目专业技术负责人等进行验收，并按表F.0.1记录。

表F.0.1分项工程质量验收记录

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | |  | | | 结构类型 | |  | | 检验批数 | | |  |
| 施工单位 | |  | | | 项目经理 | |  | | 项目技术负责人 | | |  |
| 分包单位 | |  | | | 分包单位 负责人 | |  | | 分包项目经理 | | |  |
| 序号 | 检验批部位、区段 | | | 施工单位检查评定结果 | | | | | | | 监理（建设）单位验收结论 | |
| 1 |  | | |  | | | | | | |  | |
| 2 |  | | |  | | | | | | |  | |
| 3 |  | | |  | | | | | | |  | |
| 4 |  | | |  | | | | | | |  | |
| 5 |  | | |  | | | | | | |  | |
| 6 |  | | |  | | | | | | |  | |
| 7 |  | | |  | | | | | | |  | |
|  |  | |  | | | | | | |  | | |
|  |  | |  | | | | | | |  | | |
| 检查结论 | 项目专业 技术负责人  年月日 | | | | | 验收结论 | | 监理工程师— （建设单位项目专业技术负责人）  年月日 | | | | |

# 附录G球形埋置式超声波探头

在浇筑混凝土的过程中，将球形埋置式超声波探头预先埋置到抽检构件中，或易产生不密实缺陷的位置，并将信号线引出。在检测缺陷时使用超声波无损检测设备与探头连接即可。

球形埋置式超声波探头可以实现360°发射/接收超声波，既可以采用球形探头发射（接收）、平面探头接收（发射）的检测方法（以下简称方法一，如图G.0.1或G.0.2左），也可以采用发射接收均为球形探头的检测方法（以下简称方法二，如图G.0.1右或G.0.2右）。在使用方法一时，球形探头埋置在钢板混凝土结构内部，在外部钢板表面使用平面超声波探头作为接收端，移动式地检测球形探头与钢板之间一定范围内任意方向上的缺陷；而方法二则是根据需要的数量将球形探头埋置入钢板混凝土结构内部形成阵列，主要用于检测在混凝土内每两支球形探头之间的缺陷。球形埋置式超声波探头横向、纵向间距均不得大于1.4m。



1—平面超声波探头2—缺陷3—混凝土4—钢板5—球形埋置式超声波探头

图G.0.1左—球形探头测缺陷方法一；右—球形探头测缺陷方法二



1—钢板2—混凝土3—球形埋置式超声波探头4—缺陷5—平面超声波探头

图G.0.2（相交部位）左：球形探头测缺陷方法一；右：球形探头测缺陷方法二

# 条文说明

//条文说明放在相关条文后边